

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Vliv technologie vlečného omílání na trvanlivost VBD

Influence of Drag Finishing Technology on Inserts  
Durability

Student:

Bc. Zdeněk Koreník

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zdeněk Koreník**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Vliv technologie vlečného omílání na trvanlivost VBD**  
**Influence of Drag Finishing Technology on Inserts Durability**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Analýza současného stavu dané problematiky.
3. Návrh experimentální činnosti a její provedení.
4. Zpracování výsledků a zhodnocení naměřených dat.
5. Závěr a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

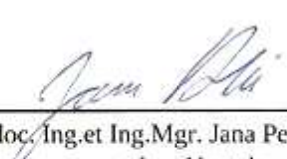
- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 14. 5. 2017 .....

.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 14. 5. 2017 .....

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Zdeněk Koreník

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Potočná 65, 793 43 Stará Ves

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektů SP2017/147 Specifický výzkum v oblasti výrobních technologií a SP2017/149 Výzkum produktivních a ekologicky úsporných výrobních technologií s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a navazujících magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce, panu Ing. Tomáši Zlámalovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky, jeho ochotu a dobrý přístup.

Dále bych chtěl poděkovat také firmě DormerPramet, v níž byla diplomová práce prováděna, za umožnění použití jejich měřicích zařízení a nahlédnutí do struktury firmy s vysokou technickou úrovní v oblasti výroby řezných nástrojů.

Velké dík také patří panu Ing. Ondřeji Vortelovi, procesnímu inženýrovi ve firmě DormerPramet, za jeho ochotu, čas a trpělivost a cenné rady při tvorbě diplomové práce.

## **Anotace diplomové práce**

KORENÍK, Zdeněk. *Vliv technologie vlečného omílání na trvanlivost VBD*. Ostrava, 2017. 73 s. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá vlivem technologie vlečného omílání na trvanlivosti VBD povlakovaných PVD povlakem. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V první části jsou uvedeny informace týkající se výroby slinutých karbidů a dále informace o integritě povrchu a zaoblení řezné hrany nástroje. Praktická část popisuje proces samotného vlečného omílání, měření drsnosti povrchu nástroje a testování trvanlivosti. V závěru je rozebráno celkové zhodnocení a srovnání s předchozí zkouškou, kvůli které vznikla tato diplomová práce.

## **Annotation of master thesis**

KORENÍK, Zdeněk. *Influence of Drag Finishing Technology on Insert Durability*. Ostrava, 2017. 73 p. Master Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engeneering Technology.

The master's thesis deals with influence of drag finishing on inserts durability coated with PWD coats. The thesis is divide into the theoretical and practical part. The first part includes the information about production of a cemented carbide, as well as information about the surface integrity and cutting edge radius of the tool. The practical part describe the process of drag finishing, roughness measuring of the tool surface and durability testing. The technical evaluation together with the comparison of the previous test, reason for this thesis, are described in the conclusion of the thesis.

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	10
Úvod.....	12
1 Prášková metalurgie a výroba nástrojů ze slinutého karbidu .....	14
1.1 Výroba wolframu .....	15
1.2 Příprava práškové směsi.....	15
1.3 Zhutňování – lisování.....	17
1.3.1 Dvoučinné lisování.....	17
1.3.2 Jednočinné, izostatické lisování za studena CIP .....	18
1.3.3 Jednočinné, izostatické lisování za tepla HIP .....	18
1.4 Slinování .....	19
1.5 Obrábění a čištění slinutých karbidů.....	20
1.6 Povlakování.....	21
1.6.1 CVD povlakování.....	21
1.6.2 PVD povlakování .....	23
1.6.3 Čištění nástrojů.....	26
1.6.4 Obecné vlastnosti povlakovaných SK.....	26
2 Integrita nástroje.....	28
2.1 Integrita povrchu při obrábění.....	28
2.2 Parametry integrity povrchu.....	29
2.3 Integrita ostří nástroje .....	30
2.4 Vybrané parametry integrity povrchu .....	31
2.4.1 Textura povrchu .....	31
2.4.2 Zaoblení řezné hrany.....	33
3 Návrh experimentální činnosti a její provedení .....	36
3.1 Předmět testování.....	36
3.2 Vlečné omílání.....	37
3.2.1 Zařízení pro vlečné omílání .....	38
3.2.2 Média pro omílání.....	38
3.2.3 Parametry omílání.....	40
3.2.4 Přípravky pro omílání .....	41
3.3 Proces omílání TNGX100404SR – F – P03.....	43
3.3.1 Nalezení limitních hodnot pro omílání.....	43
3.3.2 Sestavení tabulky omílacích hodnot a proces omílání .....	44
3.4 Měření na elektronovém mikroskopu .....	45



3.5	Měření na Alicona Infinite Focus .....	45
3.5.1	Naměřené hodnoty .....	48
3.6	Zkouška trvanlivosti.....	53
3.6.1	Řezné podmínky.....	55
3.6.2	Kritéria opotřebení a průběh zkoušky trvanlivosti.....	55
4	Zpracování výsledků a zhodnocení naměřených dat .....	57
4.1	Grafické vyhodnocení naměřených hodnot z Alicona InfiniteFocus.....	57
4.2	Vizuální porovnání povrchů vybraných metod.....	59
4.3	Zkouška trvanlivosti.....	61
5	Závěrečné zhodnocení a doporučení.....	68
	Závěr.....	70
	Seznam použité literatury .....	71

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Význam	Jednotka
$a_e$	šířka frézovací plochy	mm
$a_p$	hloubka záběru	mm
$a_{p \max}$	maximální hloubka záběru	mm
$A\alpha$	plocha hlavního hřbetu nástroje	-
$A\alpha'$	plocha vedlejšího hřbetu nástroje	-
$A\gamma$	plocha čela nástroje	-
CIP	jednočinné izostatické lisování za studena	-
CVD	povlakování na chemickém principu	-
F	posuvová složka síly řezání	N
$f_{\min}$	posuv minutový	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$f_{\text{zub}}$	posuv na zub	$\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}$
HIP	jednočinné izostatické lisování za tepla	-
i	počet záběrů	-
K	řezivost	%
l	délka záběru	mm
ln	měřená délka	mm
LR	horizontální rozlišení	$\mu\text{m}$
lr	základní délka	mm
n	ptáčky	$\text{min}^{-1}$
PD	přímý držák	-
Pt	hloubka profilu	$\mu\text{m}$
PVD	povlakování na fyzickém principu	-
Ra	střední aritmetická hodnota drsnosti	$\mu\text{m}$
Rk	základní hloubka	$\mu\text{m}$
Rq	střední kvadratická hodnota drsnosti	$\mu\text{m}$
Rz	maximální výška profilu	$\mu\text{m}$
Sa	průměrná aritmetická odchylka posuzovaného topografického povrchu	$\mu\text{m}$
SK	slinutý karbid	-
Smr1	poměr plošného materiálu, oddělující redukované vrcholy od jádra drsnosti	%
Smr2	poměr plošného materiálu, oddělující redukované prohlubně od jádra drsnosti	%
Spk	průměrná redukovaná výška výstupků nad jádrem drsnosti	$\mu\text{m}$
Sq	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného topografického povrchu	$\mu\text{m}$

Zkratka	Význam	Jednotka
Svk	průměrná redukovaná výška prohlubní pod jádrem drsnosti	$\mu\text{m}$
Sz	největší výška profilu posuzovaného topografického profilu	$\mu\text{m}$
S $\alpha$	zaoblení hřbetní plochy	-
S $\gamma$	zaoblení čelní plochy	-
T	trvanlivost	min
t <sub>As</sub>	čas obrábění	min
VB <sub>2</sub>	opotřebení hladícího břitu	mm
VB <sub>B</sub>	opotřebení hlavního břitu	mm
VB <sub>C</sub>	opotřebení vedlejšího břitu	mm
VBD	vyměnitelná břitová destička	-
v <sub>c</sub>	řezná rychlost	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
Vmc	objem jádra topografického povrchu	$\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$
Vmp	objem materiálu výstupků	$\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$
VR	vertikální rozlišení	$\mu\text{m}$
Vvc	objem jádra prázdného prostoru na topografickém povrchu	$\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$
Vvv	nevyplněný objem prohlubní	$\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$
Wt	hloubka vln	$\mu\text{m}$
ZD	zahnutý držák	-
Zp	maximální výška výstupku na měřené délce	$\mu\text{m}$
Zv	maximální hloubka rýhy na měřené délce	$\mu\text{m}$
$\kappa_r$	úhel nastavení hlavního ostří	°
$\lambda_c$	katodfiltr	$\mu\text{m}$
$\phi$	úhel stříhu	°
$\phi_M$	úhel stříhu u obrobku	°
$\phi_N$	úhel stříhu u třísky	°

## Úvod

Na obráběcí nástroje jsou v dnešní době kladeny čím dál větší nároky související s vývojem nových materiálů obrobků, zvyšováním řezných rychlostí a posuvů. Vývoj se týká nejen nových materiálů nástrojů, jejich chemického složení, velikost částic, ale také různých povrchových úprav, jako je například tvorba deponovaných povlaků. Neméně důležitou součástí výroby nástroje je také tvorba jeho břitu, integrita povrchu a zaoblení řezné hrany. Pro výrobu kvalitního nástroje musí jít každý parametr ruku v ruce s ostatními parametry.

Diplomová práce je zaměřena na vliv technologie vlečného omílání na trvanlivost VBD. Práce bude prováděna na VBD povlakovaných PVD povlakem. Tento povlak sice zvyšuje trvanlivost nástroje, ale má i několik negativních vlastností, jež snižují životnost nástroje. Pomocí vlečného omílání se tyto negativa odstraní. Jedná se zejména o odstranění makročástic deponovaných PVD metodou na povrchu VBD a také o úpravu zaoblení řezné hrany. Cílem práce bude nalézt vhodné parametry vlečného omílání a provádění následných zkoušek životnosti pro daný typ VBD.

Práci lze rozdělit na dva větší úseky. V prvním z nich bude pojednáno o výrobě slinutých karbidů. To znamená náhled na proces od tvorby výchozích surovin až po finální produkt. Dále bude rozebrána problematika integrity břitu nástroje. Zde bude popsáno, jaké parametry ovlivňují trvanlivost a životnost nástroje. Následující kapitola bude věnována experimentální činnosti, což zahrnuje popis technologie vlečného omílání, úpravy povrchu řezných nástrojů, kontroly, měření, zkoušky životnosti atd.

Druhá část věnuje pozornost experimentální činnosti, která zahrnuje popis technologie vlečného omílání, úpravy povrchu řezných nástrojů, kontroly a měření, zkoušky životnosti atd. Část kapitoly bude věnována stroji OTEC DF 3, na kterém se bude vlečné omílání VBD provádět a měřicím přístrojům Alicona InfiniteFocus a Tescan Mira LM3. Ve finální části budou vyhodnoceny výsledky činnosti a také porovnání jednotlivých nastavení parametrů při procesu vlečného omílání.

Diplomová práce vznikla ve spolupráci s firmou DormerPramet, která se zabývá vývojem a výrobou obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Původně se jednalo o dvě společnosti – DormerTools – výrobce monolitních nástrojů a PrametTools – výrobce nástrojů s VBD a produktů ze SK. Tyto dvě společnosti se v roce 2014 spojily

pod obchodním názvem DormerPramet. Nyní nabízí firma své produkty prostřednictvím více než 30ti poboček, které působí na více než stovce různých tržů po celém světě.



*Obr. 1 Ochranná značka společnosti DormerPramet [31]*

Jelikož si je firma vědoma dopadu průmyslové produkce na životní prostředí, implementovala do své výroby integrovaný systém řízení a aktivně aplikuje politiku minimalizace dopadů výroby na životní prostředí všude tam, kde firma působí.



*Obr. 2 Ukázka části sortimentu podniku.[30]*

## 1 Prášková metalurgie a výroba nástrojů ze slinutého karbidu

Slinutý karbid je produktem technologie práškové metalurgie. Počátky této technologie využívali již Inkové k výrobě zlatého prášku a k následnému zdobení šperků a zbraní. Výrobu železného prášku znali staří Egypťané (3000 let př.n.l.). Prášky byly vyráběny drcením částic daných kovů ve speciálním hmoždíři. Postupem času nacházela prášková metalurgie uplatnění především pro výrobu kvalitnějších ocelí, nástrojů a zbraní. [1]

Doba, kdy se začala prášková metalurgie více využívat, nastala na přelomu 19. a 20. století především kvůli pracování s kovy s vysokou teplotou tání, jako je molybden ( $2623\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a wolfram ( $3422\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Pro tyto kovy neexistovala zařízení, ve kterých by se daly zpracovat (roztavit). V roce 1909 bylo totiž americkým fyzikem W. D. Coolidgem zjištěno, že pokud se wolfram slinuje za dostatečně vysoké teploty a následně překová, dojde u něj k dramatickému nárůstu tažnosti a wolfram se pak dá tahat na drát malých průměrů při pokojové teplotě. Počátky slinutých karbidů se datují do roku 1920, jejichž složení a struktura byly využity k výrobě nástrojů s dlouhou životností a odolností proti opotřebení. [1]

Hlavní podstatnou práškové metalurgie je však proces spojování kovů s nekovy, kdy jedna složka má nižší teplotu tavení než složka druhá. U slinutých karbidů je to složka s nižší teplotou tavení sloužící jako pojivo (kobalt - Co) a složka s vyšší teplotou tavení sloužící jako výplň, tedy řezné částice (karbidy titanu, wolframu, niobu, tantalu atd.). Poměr těchto minimálně dvou látek určuje výsledné chemické, ale především mechanické vlastnosti. [31]

Tato technologie se využívá zejména v případech pokud:

- jsou dané materiály spolu neslévatelné, mají velmi odlišnou hustotu a velmi těžkou rozpustnost v tekutém stavu,
- je potřeba, aby výsledný materiál byl vysoce chemicky čistý,
- je potřeba řídit poréznost materiálu (samomazná ložiska a povrchy, spékané kovové filtry).

Další pozitivum práškové metalurgie je například výroba součástí, které mají homogenní chemické vlastnosti. Dále také produkce ve velmi úzkých výrobních tolerancích, kdy případné následné sekundární dokončovací operace již nejsou nákladné.

Odpad při takové tvorbě výrobku tvoří méně než 4 % a náklady na energii jsou tak velmi nízké.

Tak jako každá technologie, má i prášková metalurgie své nevýhody. První je omezení tvarem a velikostí výrobku. Ty jsou určeny možnostmi lisovací techniky. Tvar součástky závisí na velikosti lisovacího tlaku a také na zákonech šíření tlaku v prášcích. Druhá velká nevýhoda souvisí s hustotou výrobku. Pomocí této technologie nelze, nebo jen těžce dosáhnout shodné hustoty jako při odlévání. [2]

## 1.1 Výroba wolframu

Wolfram je na Zemi poměrně vzácný prvek, obsah v zemské kůře se odhaduje na 1,5 – 34 mg/kg, proto je jeho výroba poměrně náročná a výsledná cena vysoká. Minerály a horniny, ve kterých se nejčastěji wolfram nachází, se jmenují wolframit neboli také wolfram železnato-manganatý, dále scheelit (wolframan vápenatý) a stolzit (wolframan olovnatý). Při výrobě se nejčastěji využívá postup mechanické (magnetické) separace těžkých rud a výsledný koncentrát se oxidačně praží pro odstranění přísad síry a arsenu. Následně se směs louhuje v kyselině sírové, která odstraní další nečistoty, především fosfor. Následně se směs alkalicky taví za vzniku wolframanu sodného  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ . Okysličováním roztoku vzniká sraženina oxidu wolframového  $\text{WO}_3$ . Posledním krokem při výrobě wolframu je redukce oxidu na práškový wolfram. Jako redukční činidlo se používá vodík, který zreaguje s  $\text{WO}_3$  na W a vodu. [11]

## 1.2 Příprava práškové směsi

Příprava práškové směsi je nedílnou součástí výroby SK. Vlastnosti výsledného produktu se totiž odvíjejí od vlastností jednotlivých prvků, vstupujících do soustavy. Z toho vyplývá, že čím lépe a pečlivěji je připravena prášková směs, tím je zajištěna lepší kontrolovatelnost vlastností finálního produktu. U přípravy prášků je důraz kladen především na velikost jednotlivých zrn, jejich tvar a rozložení částic, dále samozřejmě také chemické složení, mikrostruktura, mikrotvrdost a hustota. Vlastnosti substrátu by se daly rozčlenit do tří hlavních skupin: [1, 3]

- **Základní vlastnosti** – patří mezi nejdůležitější vlastnosti (velikost zrn, jejich tvar a rozložení, mikrostruktura, mikrotvrdost, pórovitost, měrný povrch).
- **Technologické vlastnosti** – sem patří tekutost, sypaná hustota a objem, lisovatelnost, slinovatelnost, objem a hustota po střešení, krycí schopnost prášku.

- **Sdružené vlastnost** – elektrická a tepelná vodivost, magnetismus, teplota tání, struktura krystalů.

### *Nauhličování prášku*

Proces, při kterém se do prášku wolframu přidává přesné množství uhlíku ve formě vysoce kvalitních sazí. Je nutné zajistit dostatečnou distribuci obou složek, která je kvůli rozdílné měrné hmotnosti poměrně náročná. Mísení probíhá v kulových mlýnech, atritorech nebo ve speciálních míchadlech. Nauhličování se provádí proto, aby nedocházelo ke vzniku křehké fáze. Hranice obsahu uhlíku je 6,13 hm% a přidává se do směsi s malým přebytkem (0,01 – 0,03) hm%, právě aby se zamezilo vzniku křehké fáze. Proces nauhličování pak probíhá v rozmezí teplot 1400 – 2500 °C. Při těchto teplotách reaguje vodík se sazemí a vzniká metan ( $\text{CH}_4$ ) který následně vstupuje do reakce s wolframem a produktem reakce je karbid wolframu (WC). Vzniklé karbidické částice se melou a třídí dle velikostí. [1]

### *Třídění dle velikosti zrna*

Každé vzniklé zrno má odlišný tvar, proto je obtížné popsat jejich tvar a velikost jedním parametrem. Ideální velikost zrn pro výrobu nástrojů a součástí ze slinutých karbidů je 0,5 – 30  $\mu\text{m}$ . Zrna je tedy vhodné rozčlenit do skupin podle určitého parametru. Bylo stanoveno rozčlenění dle tvaru koule, a to podle následujících parametrů: [1]

$D_a$  – průměr koule, která má stejnou projekční plochu  $A$  jako částice,

$D_v$  – průměr koule, která má stejný objem  $V$  jako částice,

$D_s$  – průměr koule, mající stejný povrch  $S$  jakou částice,

$D_{st}$  – průměr koule, mající stejnou sedimentační rychlost (dle Stokese) jako částice.

Separace zrn probíhá například **proséváním**. Pomocí síťových strojů je možné rozčlenění částic větších než 5  $\mu\text{m}$ . Dále je možno třídít částice **pomocí vzduchu**, kdy řízený proud vzduchu unáší lehčí částice dále než těžší. Dají se tak třídít částice v rozmezí 20 – 100  $\mu\text{m}$ . Na podobném principu funguje i proces **plavení**, kdy místo vzduchu je použita kapalina. [1]

### *Žíhání (redukce) prášků*

Redukce se provádí proto, aby vlivem okolního prostředí nedošlo k oxidaci a tím pádem degradaci prášků. Redukovaný prášek se musí ale rychle zpracovat, protože je velmi reaktivní. Ne všechny kovy lze však redukovat. Například Ti, Al, Cr, Mo se musí vyrábět způsobem, který zamezí přístupu kyslíku. [2]



### ***Přísady, příměsi a mísení***

Do soustavy prášku (pojivo a abrazivo) se někdy přidávají i speciální přísady, které napomáhají lepší lisovatelnosti, snižují koeficienty tření mezi stěnou lisovacího nástroje a samotnými částicemi substrátu. Jsou to různé plastifikátory a maziva (sterát zinku nebo lithia), které se do směsí prášků přidávají v rozmezí 0,2 – 1 hm. %. Maziva slouží k menšímu opotřebení lisovací formy, které je nutno je před slinováním odstranit. Děje se tak, že se polotovar zahřeje těsně nad výparnou teplotu maziva a na této teplotě je součástí určitou dobu ponechána. Doba je ovlivněna velikostí částic. Přidáním malého množství karbidů VC, TaC a CrC způsobuje zabránění růstu zrn během slinování. [1, 2]

Mísením a mícháním směsi je docíleno rovnoměrného rozprostření všech částic ve směsi. Díky takto připravené směsi je docíleno dobré opakovatelnosti výroby součástí se stejnými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Pro mísení se používají klasické bubnové mísiče, popřípadě pro obtížněji mísitelné složky se používají lopatková či šroubová míchadla. [1, 2]

Pro zajištění optimální mísitelnosti, snížení prašnosti (jedovatost některých složek), případně pro zabránění tvorby shluků částic se používají další přísady, většinou na bázi alkoholu. Tato aditiva se při/po mísení substrátu odpaří a nezanechají ve směsi žádné stopy. Po určité době mísení dochází k tzv. přemísení. Tento jev zhoršuje homogenitu částic a je nutné přidat další aditivum, které znovu obnoví vzájemné síly mezi částicemi. Ve většině případů se přidává kyselina olejová v benzolu. [1, 2]

### **1.3 Zhutňování – lisování**

Tato fáze postupu vytváří ze sypkého prášku již celistvý, kompaktní prvek. Cílem této fáze je snížit pórovitost na co nejnižší mez v celém objemu součásti. Pórů ve volné sypané formě bývá více jak 50 % často až 80 %. Největší množství jich je, mají-li částice stejnou velikost. V případě různé zrnitosti vyplní menší částice lépe póry mezi většími a tím se sníží celková pórovitost a potřebná síla pro lisování. [3]

Existuje velké množství typů lisování slinutých karbidů a práškových kovů. Nejčastěji se však využívá dvojčinné a jednočinné lisování za tepla/studena. Další možné způsoby lisování jsou například válcování, protlačování, lisování explozí a kování prášků.

#### **1.3.1 Dvoučinné lisování**

Dvoučinné nebo také oboustranné lisování je využíváno z důvodu lepšího zhutnění materiálu v celém objemu a ke snížení nákladů na lisování. Princip tkví v pohybu dvou

razníků, které se v matrici pohybují proti sobě a stlačují materiál z obou směrů. Čela jednotlivých razníků jsou rovněž vyrobena ze slinutých karbidů. I když se prášek slisuje na kompaktní prvek, stále jsou mezi jednotlivými zrny vzduchové kapsy, které následně při slinování opustí objem a celková velikost se sníží o dvě desítky procent. Pohyb jednotlivých prvků se různí. Může se jednat například o nepohyblivou matici a pohyblivé razníky nebo o nepohyblivý dolní razník a pohyblivou matici s horním razníkem. [3]

### 1.3.2 Jednočinné, izostatické lisování za studena CIP

CIP (Cold Isostatic Pressing) je metoda lisování, kdy je materiál v matrici uložen v pouzdře tvořeném pružným materiálem, jako je například silikonový kaučuk nebo latex. Forma se následně uzavře, aby směs prášku nebyla ovlivněna působící kapalinou. Existují dvě metody CIP lisování a to tzv. Dry-Bag a Wet-Bag. U první jmenované je kapalina mezi formou a mechanickým pístem, který vytváří tlak, přičemž tato metoda se dá plně automatizovat a použít pro malé součásti. U metody Wet-Bag působí hydrodynamický tlak přímo na formu a tato metoda se nedá automatizovat. Používá se pro velké součásti. Celkově metoda CIP slouží především pro lisování dlouhých výrobků, kdy poměr délky k šířce je v poměru minimálně 2,5:1. Lisovací tlaky jsou okolo 400 MPa. Při lisování se rozlišují tři intervaly. Nárůst tlaku, výdrž na maximálním tlaku a snižování tlaku. Fáze výdrže na maximálním tlaku je důležitá z toho hlediska, aby se slisoval kompletně celý obsah. Poslední fáze snižování tlaku určuje výsledné vlastnosti výlisku. [2, 3]

### 1.3.3 Jednočinné, izostatické lisování za tepla HIP

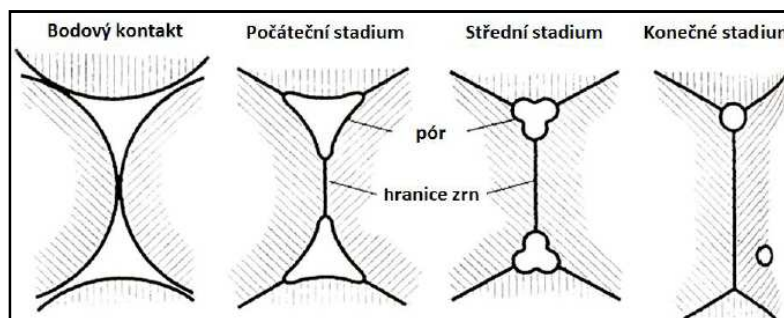
HIT (Hot Isostatic Pressing) je proces lisování, kde místo tlaku působí na prášek navíc ještě vysoká teplota. Metoda je využívanější než CIP, i když je dražší. Používá se především proto, že má slinutý karbid lepší mechanické vlastnosti. Tvrdost a pevnost se nezmění, sníží se ale vnitřní pnutí, lomová houževnatost a pevnost v ohybu – ta se zvýší o 500 MPa na celkových 2940 MPa. Dále se pak slinuté karbidy zpracované touto metodou lépe obrábí. [3]

Princip metody spočívá v tom, že lisovaný prášek je uzavřen ve formě, na tu rovnoměrně působí tlak inertního plynu (helium nebo argon) a vysoká teplota až 2000 °C. Při této teplotě setrvává součást 2-6 hodin. Oproti metodě CIP je v tomto případě výhoda v tom, že není nutno použít takového tlaku. Pomocí HIP lze docílit 100% hutnosti = 0% pórů. [3]

## 1.4 Slinování

Po procesu lisování nebývají vlastnosti slinitých karbidů, např. pevnost ideální, musí se proto ještě slinovat. Při tomto procesu získává karbid své vlastnosti, které ho řadí na špici strojírenských materiálů. Slinování je proces tepelného zpracování při homologických teplotách v rozmezí 65-80 % teploty tavení složky s její nejvyšší teplotou tavení. Díky této teplotě zůstanou karbidická, nitridová zrna celá, ale pojivová kobaltová část s příměsemi se roztaví a zalije karbidická zrna. Pokud je u finálního výrobku přípustná porozita, provádí se slinování pouze jednou. Pokud přípustná není, slinuje se vícekrát – nejčastěji dvakrát. O první fázi se mluví jako o procesu předslinování. Většinou je tato fáze v rozmezí teplot 700-850 °C a slouží k odstranění plastifikátorů, které zůstaly v součásti z lisovacího procesu. [1, 3]

Samotný proces slinování je prováděn v rozmezí teplot 1350-1600 °C. Pojivová část složky (kobalt) je roztaven a díky spojování jednotlivých zrněk v jeden celek, se celý polotovar smršťuje – zhutňuje. Výsledná hutnost součásti se blíží 100% teoretické hutnosti. Spojování jednotlivých zrn Co lze pozorovat na obrázku (Obr. 1.1). Při této teplotě se nataví i část karbidu wolframu. Je to ovlivněno zvýšenou teplotou slinování a výdrže na této teplotě. Takto natavený karbid se při procesu ochlazování vylučuje na zbylých zrnech karbidu, čímž je zvětšuje a pomáhá k vyplňování zbylých pórů. [1, 4]



**Obr. 1.1** Průběh změny struktury jednotlivých zrn. [4]

Parametry slinování samozřejmě závisí na materiálu, ať už dvoukomponentní WC-Co nebo vícekomponentní SK např. WC-Ti-Co, ale také závisí na struktuře zrna. Čím je zrno menší, tím má prášek větší povrch a tím pádem i větší povrchovou energii, tudíž je i proces samotného slinování urychlen. Důležitá je také dostatečná smáčivost. Čím je vyšší, tím lépe obaluje roztok pevné částice a lépe vytěsňuje póry. V případě nízké smáčivosti se do materiálu přidávají složky, napomáhající této vlastnosti. [3]

Jak už bylo popsáno, při procesu slinování se výsledná součást smrští, a to až o několik desítek procent. Je proto vhodné použít například HIP metodu lisování, která zajišťuje

téměř 100% hutnost. Případně lze přidat do směsi plniva (syťící látky – kovy, vysokopolymerní látky). Dále je též možno nepřidávat do směsi látky tvořící tekutou fázi před slinováním, ale až v jejím průběhu, kdy se z karbidických zrn vytvoří skelet, do něhož se díky kapilárním silám dostane pojivový kov až v průběhu slinování. [2]

Slinování probíhá buďto v ochranné atmosféře nebo ve vakuu. U první varianty je ochranným plynem vodík. Ten musí být důkladně vysušen a s minimálním obsahem kyslíku. Vodík není vhodný pro slinování VBD především z důvodu zanechání nekvalitních povlaků na povrchu. Ty by musely být následně obroušeny, proto se pro výrobu VBD volí slinování ve vakuu. Celý proces má 3 hlavní fáze. **Předslinování** (odstranění plastifikátorů), **slinování** a výdrž na teplotě, **ochlazování**. U ochlazování rovněž záleží na rychlosti, protože materiál stále difunduje a proto může rychlost ovlivnit výslednou kvalitu produktu. Výlisky jsou vkládány do slinovací pece na grafitových podložkách. Celý proces slinování je řízen automaticky. Na obrázku (Obr. 1.2) lze vidět automatickou, horizontální, vakuovou slinovací pec od firmy PSHG. [1, 2, 3]



*Obr. 1.2 Slinovací pec od společnosti PSHG. [29]*

### 1.5 Obrábění a čištění slinutých karbidů

Proces slinování může být konečný pro část sortimentu, drtivá většina výrobků se ale i dále nějakým způsobem opracovává, a to z důvodu zajištění potřebné přesnosti (geometrie, tvaru) finálního produktu. Pro opracování se nejčastěji používá broušení a pískování dále v menší míře elektroerozivní obrábění, vrtání atd. Zvláště při výrobě VBD a nástrojů ze slinutého karbidu je nejčastějším krokem právě broušení. Řezný nástroj musí být vyroben ve velmi úzkých tolerancích, aby zajistil kvalitní výsledky při jeho následném

použití v praxi – obrábění. Zejména pomocí broušení, ale také prostřednictvím pískování, omílání se z povrchu nástroje odstraní škodlivá tahová napětí, které je nahrazeno napětím tlakovým.

Pro obrábění slinutých karbidů se nejčastěji využívají diamantové brusné kotouče s různými druhy pojiv. Širší škála pojiv zajišťuje různorodost použití kotoučů. Při použití měkkých **pryskyřičných pojiv** je dosaženo agresivnějšího úběru materiálu za rychlejší čas. Kotouče mají ale krátkou životnost a neudrží si dlouho svůj přesný profil, musí se často přerovnávat. Při použití kotoučů s **kovovým pojivem** (slitiny bronzu a železa) mají již kotouče delší životnost, ale nižší úběr materiálu. Jejich nevýhodou je nemožnost naprofilování na pracovišti, musí se posílat výrobci. **Galvanická pojiva** jsou vhodná zejména pro tvarově složitě kotouče, protože mají na těle kotouče nanesenou pouze jednu vrstvu, která se již nedá nabrousit. Výhoda je jejich nižší pořizovací cena. **Keramická vazba** zajišťuje definovanou pórovitost, tudíž řízený odběr materiálu. Nevýhodou je křehkost a náchylnost na rázy a poměrně rychlá ztráta profilu, jež se však dá obnovit diamantovým kotoučem s kovovou vazbou. Podstatnými faktory při broušení jsou také velikost a koncentrace zrna v kotouči, které ovlivňují úběr materiálu, dobu broušení a opotřebení kotouče.

## 1.6 Povlakování

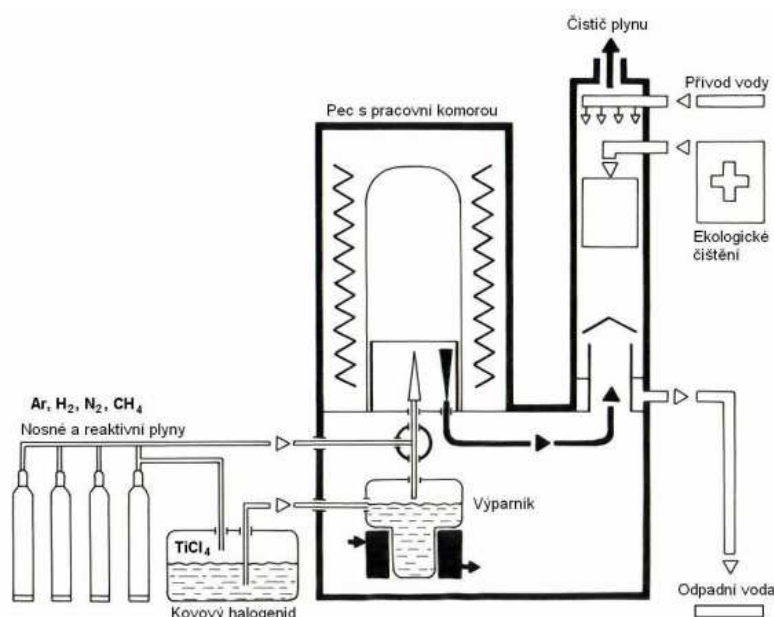
Povlakování slinutých karbidů vzniklo zejména pro prodloužení životnosti nástrojů a zlepšení jejich řezivosti. Jedná se o tenké deponované vrstvy na povrchu nástroje. Tyto vrstvy jsou vázány k povrchu buďto chemicky (CVD metoda) nebo prostřednictvím fyzikálních sil (PVD metoda). Obě metody mají své výhody i nevýhody a v současné době pracují vědci na tom, aby dané nevýhody potlačili, případně úplně odstranili.

### 1.6.1 CVD povlakování

Jedná se o povlakování, kdy je deponovaná vrstva svázána s povrchem nástroje chemickou reakcí (Chemical Vapour Deposition). Proces probíhá za zvýšených teplot v rozmezí 700 – 1100 °C a tlaku ochranné atmosféry 1 – 100 kPa. Jako médium pro napařování se používá plynná fáze, tvořená reakcí různých plynů (zejména chloridu titaničitého a metanu). Toto médium je plazmaticky ionizováno a následně vháněno do komory, která je vyplněná tzv. nosným médiem (argon, vodík). Zde „dosedá“ na povrch deponované součásti, kde zreaguje s povrchovými atomy a vytvoří tak chemickou vazbu. Jelikož jde tok jednotlivých plynů velice jednoduše regulovat, je díky této metodě povlakování možné tvořit vícevrstvé deponované vrstvy. Tyto povlaky jsou složeny

minimálně ze dvou rozdílných povlaků, které brání šíření trhlin vzniklých na svrchních vrstvách. [2, 5, 6]

Zařízení pro CVD povlakování se nazývá reaktor (Obr 1.3) a dělí se na dva typy – se **studenou stěnou** a s **horkou stěnou**. První případ se používá pro endotermické reakce, kdy se teplo spotřebovává. Vyhříván je pouze držák s přípravky pro povlakování. Stěny reaktoru jsou chlazeny vodou a to proto, aby se na nich neusazoval povlak, případně aby nekontaminoval povlak vznikající na substrátu nástroje. Reaktory s horkou stěnou jsou využívány pro exotermické reakce, kdy se teplo vytváří. Stěny reaktoru jsou zahřívány a je tak zamezeno tvorbě povlaku na jeho stěnách, rovněž se tak zabrání kontaminaci vznikajícího povlaku na součásti. [2, 5]



**Obr. 1.3** Schéma CVD povlakování. [5]

Existuje více druhů CVD povlakování například **PECVD** (Plasma Enhanced CVD), kdy je ionizován plyn v komoře reaktoru a celý proces tak může oproti klasické CVD metodě probíhat za nižších teplot. **MWPCVD** (Micro Wave Plasma CVD) mikrovlnná plasmatická CVD metoda která se opět vyznačuje nižší potřebnou teplotou (okolo 600°C). **MTCVD** (Middle-Temperature CVD) povlakování za středních teplot (700 – 800°C), kdy se jako vstupní sloučenina používá vysoce toxický a hořlavý acetonitril (methylkyanid). **HFCVD** (Hot-Filament CVD), při níž jsou vstupní složky rozkládány žhavým vláknem, které je umístěno blízko substrátu. Rychlost povlakování je vyšší než klasická metoda, proto se tento způsob využívá například pro diamantové povlaky. **LICVD** (Laser Induced CVD) je laserově indukovaná metoda, kdy se štěpí vstupní plyn v těsné blízkosti substrátu. [2, 6, 7]

**Tab. 1.1** Výhody a nevýhody CVD povlakování. [5]

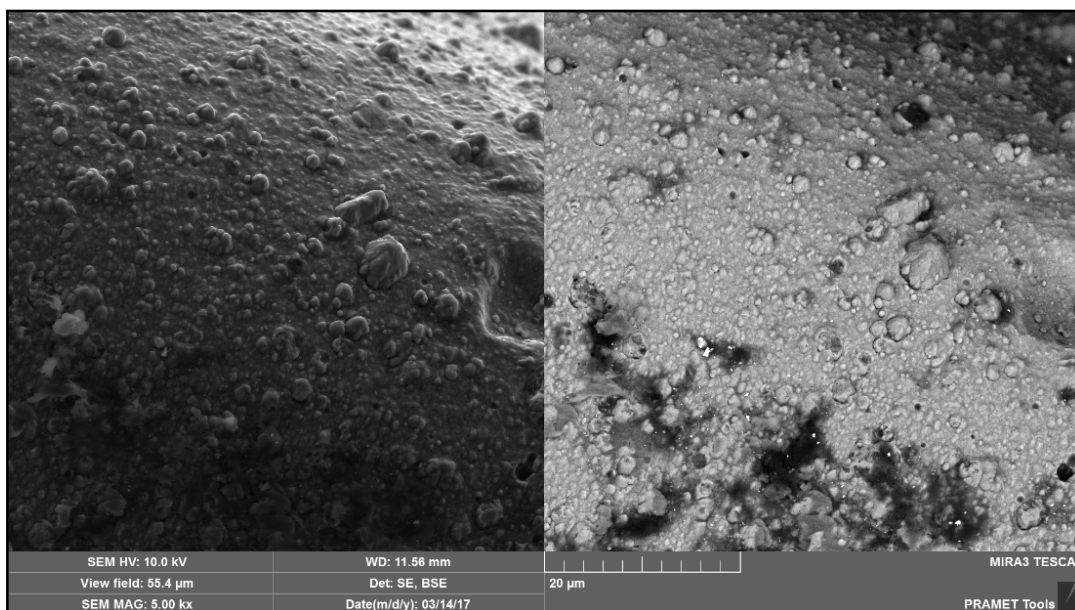
<b>VÝHODY</b>
Vysoká hustota, homogenita a teplotní stabilita povlaku
Výborná adheze k substrátu + rovnoměrná tloušťka u tvarově složitých nástrojů
Povlakování nástroje rovnoměrně ze všech stran až do tlouštěk 13 $\mu\text{m}$
Relativně nízké pořizovací a provozní náklady
<b>NEVÝHODY</b>
Vysoké pracovní teploty, které mají za důsledek pnutí (tahová napětí) v povrchové vrstvě
Nevhodné pro přerušované obrábění (frézování)
Nelze napovlakovat ostré hrany
Dlouhý pracovní cyklus v řádu desítek hodin
Ekologicky nepřátelské plynné směsi

### 1.6.2 PVD povlakování

Jedná se o nanášení tenkých vrstev na povrch předmětu, kdy je deponovaná vrstva spojena s povrchem fyzickými silami (Physical Vapour Deposition). Oproti CVD metodě probíhá PVD povlakování za nižších teplot 150 – 500 °C a velmi vysokého vakua. Tam tlak v komoře dosahuje pouze 0,1 – 1 Pa. Proces staví na principu uvolňování částic z tzv. terčů, z nichž se daný kov (např. titan) přivede do stavu páry a následně je unášen pomocí reakčního plynu (např. dusík) na povrch součásti, kde se ukotví. PVD povlakování se dělí na tři hlavní metody. Naprašování, napařování a iontová implantace. Rozdíly tkví především ve způsobu odpařování částic z terčů. [5, 6]

**Tab. 1.2** Výhody a nevýhody PVD povlaků. [5]

<b>VÝHODY</b>
Nízká energetická náročnost
Ekologická přívětivost, nepoužívají se a neuvolňují se žádné toxiny
Povlakování hran se zaoblením pod 20 $\mu\text{m}$
Tvorba vícevrstvých povlaků a jejich kombinace (vysoce tvrdé s kluznými)
<b>NEVÝHODY</b>
Složitý vakuový systém, kde je nutno pohybovat s povlakovanými předměty
Vysoká čistota povlakovaného předmětu – nečistoty snižují adhezi povlaku
Tvorba makročásteček v povlaku na jejichž odstranění staví tato DP (Obr. 1.4)
Vhodné jen pro přerušované obrábění, kdy není břit kontinuálně v záběru (frézování)



*Obr. 1.4 Deponované makročástice na povrchu řezné hrany destičky.*

### PVD naprašování

Na terče, ze kterých se bude materiál odprašovat, musí být přiveden vysoký záporný elektrický potenciál v řádech několika set až tisíců voltů. Následně je do vakua vpraven pracovní plyn (např. Argon), jehož kationty jsou doutnavým výbojem urychlovány, bombardují terč a svou kinetickou energií jej rozprašují. Anionty pracovního plynu směřují ke kladně nabitě stěně komory. Do ní může být pod nízkým tlakem vypuštěn i reaktivní plyn (kyslík, dusík), který následně tvoří oxidy a nitridy. Proces naprašování má několik způsobů provedení. Prvním je **naprašování doutnavým výbojem rovinné diody**. Tento proces je nejjednodušší a poměrně rozšířený zejména díky snadné výrobě terčů ze široké škály materiálů. Nedostatky jsou nízká rychlost depozice a nežádoucí ohřev povlakovaných součástí z důvodu bombardování odprášenými částicemi. Druhým způsobem je **magnetronové naprašování**, kdy se terč odprašuje v prostředí argonového plazmatu. Zde je pole vedeno od elektrody pomocí magnetických siločar v tzv. tunelu siločar směrem k terči. Tam jsou ionty terče odprášeny a plazmatem vedeny na záporně předpjatý substrát, kde vytvoří tenké vrstvy. Velkou výhodou je naprašování libovolného materiálu, slitin i nevodičů. Další výhodou je také zamezení tvorby mikročástic v deponovaných vrstvách. Nevýhodou je nižší schopnost adheze k substrátu. [2, 6, 8]



## PVD napařování

Proces napařování je založen na principu odpařování materiálu z terče a následné kondenzaci na substrátu. Pracuje na principu snížení bodu varu látek, při sníženém tlaku. Nejčastěji se k ohřevu používá obloukové odpařování. Je možné ale použít i laser nebo elektronový paprsek. U **obloukového odpařování** je použit nízkonapěťový oblouk, hořící mezi katodou (terč) a anodou (vakuová komora). Na anodě hoří oblouk po celé ploše, na terči jen bodově. Díky tomu je zajištěna vysoká rychlost odpařování a zvýšená ionizace odpařených částic, která velmi dobře přispívá k adhezi mezi částicemi a substrátem. Teplota vzniklá na katodě, dosahuje až 15000 °C, takže je možné odpařit jakýkoliv materiál. Nevýhoda u této metody je možnost odpařování pouze vodivých materiálů a tvorba makročástic v deponované vrstvě, které mají opět negativní vliv na výslednou kvalitu povrchu. Metoda je v porovnání s jinými časově nenáročná, a proto je v současné době hojně využívána. [6, 10, 33]

## Iontová implantace

Proces nanášení vrstvy probíhá za tlaku 0,01 – 10 Pa. Prvotní čištění probíhá v inertní argonové atmosféře, kdy je na substrát přivedeno záporné napětí o velikosti 1000 V. Vznikne elektrický výboj a mezi substrátem a terčem vytvoří se silné elektrické pole, které dodává iontům vysokou energii a působí tak na povrch substrátu čistícím účinkem. Následně je napětí sníženo na 50 – 100 V a začíná proces deponování. V tento okamžik jsou do komory vpuštěny reaktivní plyny (kyslík, dusík, methan), které reagují s odpařenými částicemi z terče za vzniku chemické sloučeniny potřebné pro tvorbu deponovaných vrstev. Látka z terče, kterou bude substrát pokryt, se do plynného stavu dostane buď odprašováním nebo odpařováním. [2, 10]

Velkou **výhodou** iontové implantace je nanášení povlaků rozmanitého složení. Jelikož proces pracuje v rozmezí teplot 200 – 450 °C, je možné povlakovat již tepelně zpracované materiály. K dalším výhodám patří přesně nastavitelné chemické složení povlaku, již zmiňované čištění povrchu před zahájením samotného procesu deponování, menší náchylnost na úhel dopadajících částic, vynikající adheze a hustota povlaku. **Nevýhodami** jsou zejména složitá obsluha, u níž je nutno řídit velké množství procesních parametrů, dále obtížnost docílit rovnoměrného bombardování celého povrchu, případně může dojít k nadměrnému ohřevu substrátu při velké intenzitě bombardování. [2, 10]

### 1.6.3 Čištění nástrojů

Jak již bylo zmíněno, povlaky, zejména PVD, jsou velmi náchylné na nečistoty na povrchu substrátu. Před procesem samotného povlakování tedy musí proběhnout čištění. Dělí se na několik typů: [12]

**Pískování** – jedná se o mechanické čištění, které za pomoci urychlených zrn (nejčastěji z  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nebo  $\text{SiC}$ ) odstraní z povrchu součásti nečistoty, vytvořené zejména při broušení. U této metody je nutno si dát pozor na zaoblení řezných hran. Pískování nelze použít na leštěné plochy.

**Odmaštění** – probíhá ve speciálních zařízeních využívajících ekologicky odbouratelné ropné deriváty.

**Mokrý čištění** – využívá kombinaci několika procesů, jako jsou například oplachy, tlakové oplachy, čištění ultrazvukem, elektrochemické metody, vypařování, vakuové čištění apod. Nejčastěji se čistí v alkalických prostředích roztoků  $\text{KOH}$  či  $\text{NaOH}$ . U mokrých procesů je nutno dosáhnout intenzivního sušení, které zabrání tvorbě map na povrchu. Používaná zařízení jsou průmyslové mycí linky.

**Iontové čištění** – proces, který probíhá přímo před samotným procesem deponování v povlakovací komoře. Tento způsob čištění byl popsán v odstavci u iontového deponování (kapitola 1.6.2). Čistota povrchu provedená tímto procesem, dosahuje atomární úrovně.


Proces čištění samotných VBD probíhá v jednom zařízení – kombinované průmyslové myčce. Zde jsou seřazeny jednotlivé procesy čištění za sebou a nedochází k přesunům VBD mezi jednotlivými pracovišti. Nemůže tedy dojít ke znovukontaminaci povrchu. Jedny z posledních čistících procesů obsahují i tzv. konzervační fázi, která následně chrání povrch substrátu před oxidací.

### 1.6.4 Obecné vlastnosti povlakovaných SK

Povlakováním slinutých karbidů se zvyšuje jejich obráběcí výkon. Mezi hlavní faktory ovlivňující mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti patří druh povlaku, metoda nanášení a tloušťka. Ta je jednou z nejdůležitějších charakteristik, ovlivňující jak trvanlivost nástroje, tak velikost řezných sil při obrábění. Průměrná tloušťka bývá v rozmezí 5-10  $\mu\text{m}$ . Větší tloušťka může mít za následek odlupování deponovaných vrstev. Procesem deponování se zlepšuje tvrdost, drsnost, adheze, kluzné vlastnosti, odolnost vůči

oxidaci a termická stabilita. V následující tabulce (Tab. 1.3) jsou seřazeny nejčastěji používané povlaky dle různých vlastností. [2]

**Tab. 1.3** Seřazení základních povlaků dle vlastností. [2]

Hodnocení	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrdost	Tvrdost za tepla
<b>Nejlepší</b>  <b>Nejhorší</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
	TiN	TiN	TiCN	TiN
	TiCN	TiCN	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiCN
	TiC	TiC	TiN	TiC

Z uvedené tabulky vyplývá, že TiC má velmi vysokou tvrdost za normálních podmínek. Jakmile se ale tepelně zatíží, tak se jeho tvrdost rapidně sníží. Není tudíž vhodný pro obrábění, kde vzniká vysoké teplo.

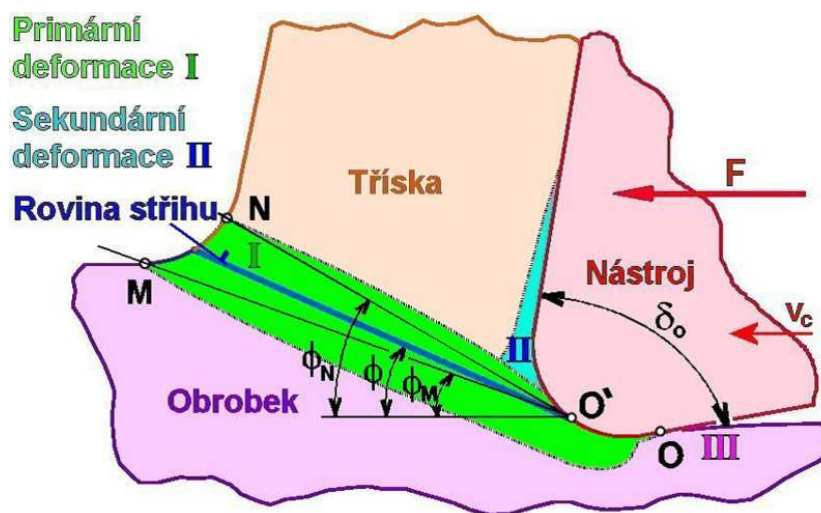
## 2 Integrita nástroje

S rostoucími požadavky na životnost a spolehlivost součástí, jsou kladeny čím dál větší nároky na kvalitu nástrojů. Tento parametr může být posuzován z několika hledisek, například rozměrová přesnost, tvarová přesnost, textura povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy.

Vlastnosti povrchu součástí jsou ovlivněny zejména způsobem výroby a následně obráběcími procesy, jež ovlivňují onu povrchovou vrstvu obráběné součásti. Změna těchto vlastností, vzniklých při obrábění, slouží k hodnocení integrity povrchu. Integrity povrchu je tedy odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká. Bere v úvahu důsledky působení technologických metod na kvalitu obrobené plochy a dává je do vztahu k jejím funkčním požadavkům. [14]

## 2.1 Integrita povrchu při obrábění

Obrábění se značnou mírou podílí na tvorbě povrchu součásti a je tedy významným činitelem při tvorbě konečného stavu povrchu. Každá technologie zanechává na povrchu a těsné oblasti pod ním určité změny (charakteristické znaky), které následně ovlivňují jeho výslednou integritu. Při obrábění se nedeformuje pouze odebíraný materiál, jež odchází po čele nástroje ve formě třísky, ale také materiál obrobku. Na tento materiál působí jednak teplota vzniklá při obrábění, tak také zbytková napětí vzniklá při deformacích. Kvůli těmto parametrům se mění fyzikálně-mechanické vlastnosti obrobku. Následující obrázek (Obr. 2.1) znázorňuje deformace vznikající při tvorbě třísky. [13]



**Obr. 2.1** Tvorba třísky a vznik deformací. [13]

Napěťové pole při obrábění tvoří napěťové pole v obrobku a v nástroji. Zóna řezání zahrnuje jen deformace plastické, kdežto deformace pružné jsou rozloženy do celého obrobku. Při procesu tvorby třísky rostou smyková napětí do té doby, než dojde k plastické deformaci materiálu obrobku před břitem nástroje. Následně se posunou vrstvy v kluzných rovinách. Proces plastické deformace se ukončí oddělením třísky. [13]

Zbytková napětí v obrobené vrstvě vznikají z důvodu nerovnoměrné plastické deformace. Pokud je potlačen tepelný účinek, tak jsou tato napětí tlaková, což má za následek lepší mechanické vlastnosti a to díky uzavírání trhlin. Pokud má plastická deformace zpevňující účinky, hovoří se o vzniku tlakových napětí. Jestliže plastické deformace vedou ke změknutí, vznikají napětí tahová. [13]

## 2.2 Parametry integrity povrchu

Při určování parametrů integrity povrchu se názory v odborné literatuře liší a nejsou sjednocené. Obecně lze ale říci, že integrita povrchu zahrnuje celou řadu parametrů. Při hodnocení je nutné si uvědomit, k čemu bude vyrobená součást sloužit, jaké požadavky na ni budou v provozu kladeny a podle toho určit konkrétní parametry hodnocení integrity.

Rozmanitost povrchů je velmi různorodá. Jsou výrobky, které musí zajistit funkce tepelné jako například (tepelná vodivost, tepelná odolnost), dále mechanické funkce (odolnost proti mechanickému zatížení), tribologické (kluznost, odval, těsnost) nebo i optickou funkci (odrazivost) atd. Integrita povrchu se tedy hodnotí pro každý typ součástí jinými parametry.

Níže bude uveden rozdíl mezi dvěma literaturami, při hodnocení parametrů integrity povrchu. Literatura [14] rozděluje integritu povrchu do dvou větších celků. Základní a úplný soubor parametrů. Přičemž úplný soubor je vlastně základní, doplněný však o řadu dalších parametrů.

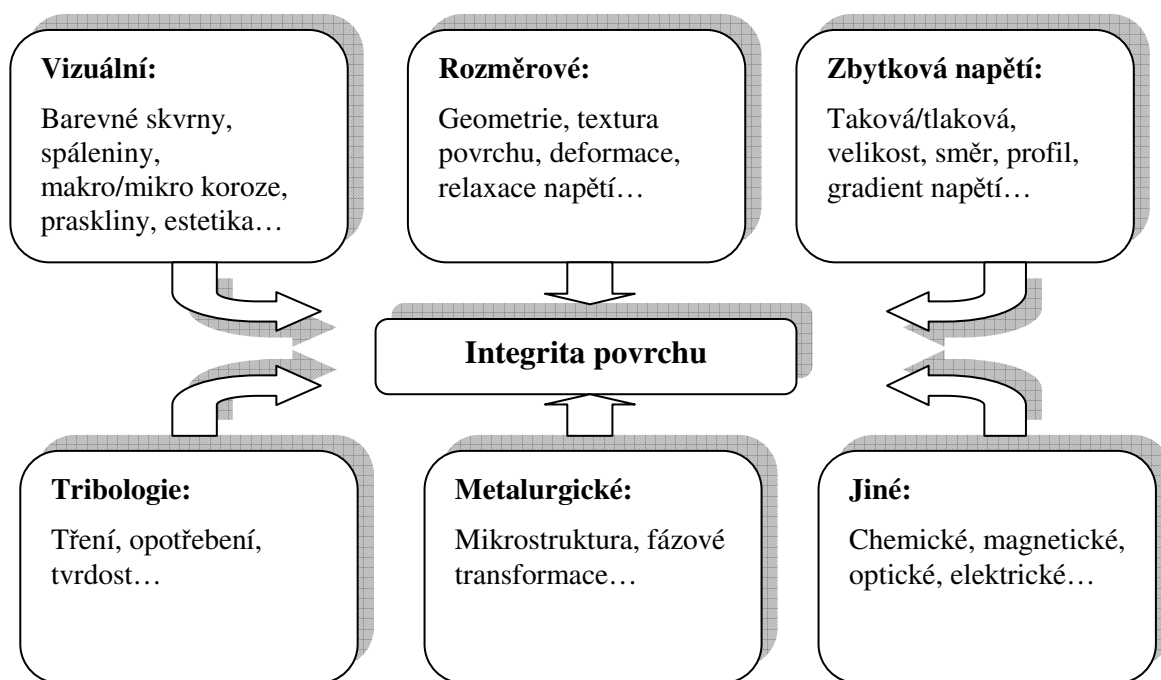
### Základní soubor parametrů: [14]

- topografie povrchu – (drsnot povrchu, kontrola existence trhlinek, kontrola řádkovacích mikroskopů),
- metalurgická kontrola povrchu – (mikrostrukturní změny, mikrotrhlínky, vměstky, mezikrystalická koroze, oxidace, průběh mikrotvrdosti).

### Úplný soubor parametrů: [14]

- doplnění základního souboru parametrů o (velikost a průběh zbytkových napětí, hodnotu vysokocyklové únavy při souměrném střídavém ohybu, sklon ke korozi pod napětím).

Literatura [15] dělí integritu povrchu dle šesti skupin parametrů.



*Obr. 2.2 Rozdělení integrity povrchu dle literatury [15]*

### 2.3 Integrita ostří nástroje

Výše uvedené parametry určují integritu povrchu obrobku. Řezný nástroj je ve své podstatě také obrobek, ale týkají se ho poněkud odlišná hlediska, hovoří-li se o integritě povrchu. Na řezné nástroje nebyly ještě donedávna kladeny takové požadavky jako dnes. Bylo to způsobeno i tím, že dříve nebyly potřebné přístroje pro zkoumání řezné hrany a břitu nástroje. I když se výrobci zabývají pojmem „integrita ostří nástroje“ již více než deset let, stále není k dispozici nějaké číselné hodnocení, které by určovalo kvantifikaci a tudíž přesné porovnání daných nástrojů. Proto je i nadále v praxi nejpoužívanější zkouškou integrity povrchu vlastní provoz, což bohužel není správné řešení, neboť komplexní zkoumání integrity dovolí najít podstatu problému. Neboť neosvědčí-li se v praxi daný nástroj, většinou se nezkoumá proč tomu tak je, ale rovnou se problému přisuzuje důsledek něčeho neznámého. [16]

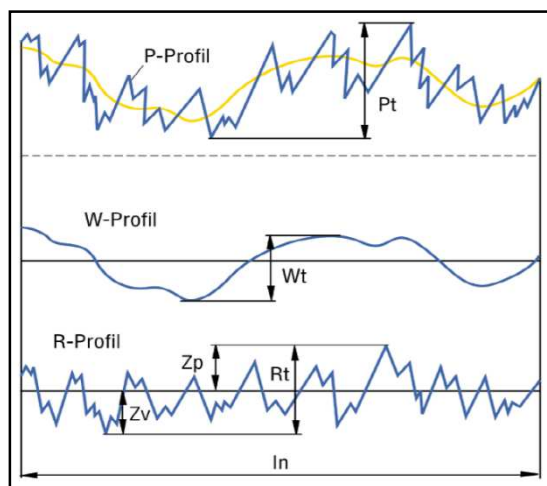
Na integritu povrchu ostří nástroje má velký vliv jeho vlastní výroba. Vlastnosti slinutých karbidů se odvíjí už od použitých přísad (velikost a tvar zrna, poměr přísad). Dále se jedná o pochody nastávající při lisování a slinování, o pochody krystalizace substrátu, tepelné procesy, následné mechanické úpravy břitu (broušení, pískování, omílání) atd. Další parametry nastupují s procesem deponování povrchu nástroje (použitá metoda, typ povlaku, tloušťka atd.).

## 2.4 Vybrané parametry integrity povrchu

Mezi nejčastěji hodnocené parametry integrity povrchu řezného nástroje se řadí textura povrchu – obecně mikrogeometrie, dále zbytková napětí a zpevnění v povrchových vrstvách. Níže budou rozepsány pouze vlastnosti měřené na zkoumané VBD. Jedná se o profilové a plošné drsnosti, poměry prohlubní a vrcholů, poměry mikroobjemů materiálů, rovněž o mikrogeometrii řezné hrany – zaoblení břitu a poměry zaoblení.

### 2.4.1 Textura povrchu

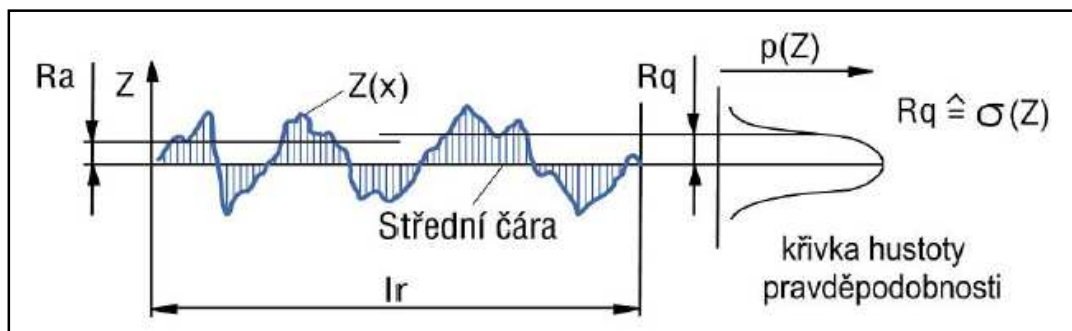
Textura povrchu je jedním z nejčastěji hodnocených prvků. Udává pozorovateli představu o skutečném tvaru profilu měřené součásti, její topografii. Není možno vyrobit naprostou rovinu povrchu, tudíž se drsnosti povrchu na výrobních výkresech předepisují vždy v nějaké toleranci (parametr  $R_a$ ). Parametry drsnosti se volí s ohledem na následné použití dané součásti – větší přesnost = vyšší cena. Donedávna hojně využívané měření profilových drsností dnes pomalu začínají nahrazovat metody pro měření plošných drsností. Tato měření podávají daleko přesnější a ucelenější náhled na celou topografii povrchu a ne jen na jednu rovinu řezu. Pro hodnocení profilové (2D) textury povrchu jsou využívány parametry stanovené normou ČSN EN ISO 4287. Parametry jsou vypočtené ze základního profilu (P), profilu drsnosti (R) a profilu vlnitosti (W) – viz (Obr. 2.3).



Obr. 2.3 Profil povrchu dle ČSN EN ISO 4287. [17]

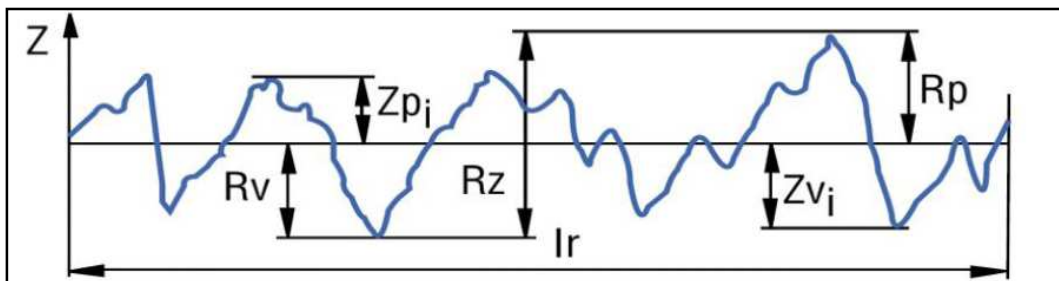
**Ra** – průměrná aritmetická úchylka profilu – nejčastěji udávaný parametr textury povrchu (Obr. 2.4). Nepodává však ucelené informace o tvaru nerovností. Stejnou hodnotu Ra mohou mít dva odlišné povrchy. Tento parametr nerozlišuje mezi prohlubněmi a výstupky. [17]

**Rq** – průměrná kvadratická úchylka profilu – nachází uplatnění při statistickém pozorování profilu. Tento parametr odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic (Obr. 2.4). [17]



*Obr. 2.4 Parametry Ra, Rq. [17]*

**Rz** – největší výška profilu – je součet nejvyšší výšky výstupku Rp a největší hloubky prohlubně Rv v rozsahu dané základní měřené délky lr. (Obr. 2.5) [17]



*Obr. 2.5 Parametr Rz. [17]*

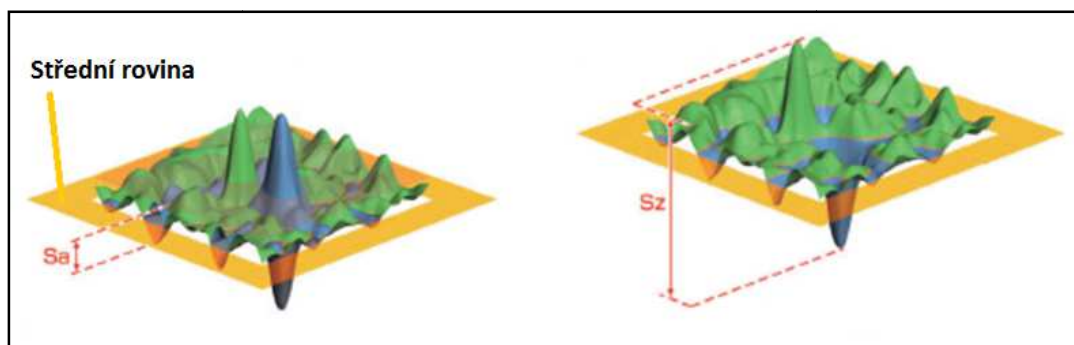
Obdobně jsou na tom i parametry plošné drsnosti. Rozdíl je v tom, že profil není zkoumán pouze v jedné rovině řezu, ale na celé měřené ploše. Na obrázku (Obr. 2.6) je zachycena průměrná aritmetická úchylka Sa a největší výška profilu Sz. [19]

**Sa** – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného topografického profilu – platí to, co pro profilovou drsnost Ra – nepodává ucelené informace o reálné drsnosti povrchu. [19]

**Sq** – průměrná kvadratická úchylka posuzovaného topografického profilu. [19]



**Sz** – největší výška profilu posuzovaného topografického profilu – součet parametrů **Sp** (peak/vrcholek) nejvyšší výšky výstupku a **Sv** (valley/prohlubeň) největší hloubky prohlubně. [19]



**Obr. 2.6** Vyobrazení parametrů *Sa* a *Sz*. [18]

**Spk** – průměrná redukovaná výška výstupků nad jádrem drsnosti.

**Svk** – průměrná redukovaná hloubka prohlubní pod jádrem drsnosti.

**Vvv** – nevyplněný objem prohlubní.

**Vmp** – objem materiálu výstupků.

**Vmc** – objem jádra topografického povrchu.

**Vvc** – objem jádra prázdného prostoru na topografickém povrchu.

**Smr1** – poměr plošného materiálu, oddělující redukované vrcholy od jádra drsnosti.

**Smr2** – poměr plošného materiálu, oddělující redukované prohlubně od jádra drsnosti.

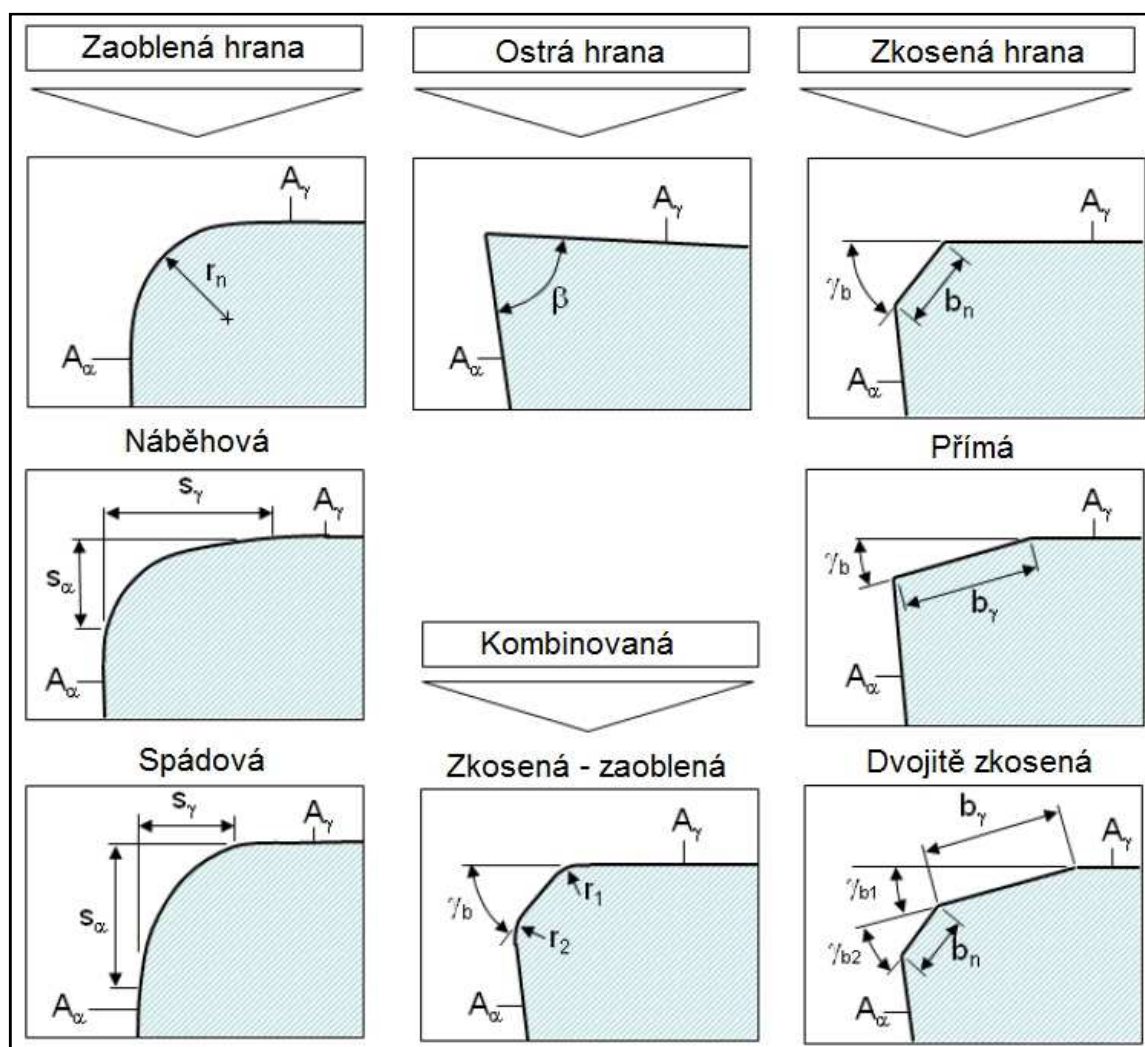
#### 2.4.2 Zaoblení řezné hrany

Geometrie řezného nástroje se dělí na makrogeometrii a mikrogeometrii. Do první zmiňované patří profil nástroje, vyostření a úhly. Do druhé patří jednak úprava břitu pomocí deponovaných vrstev, ale také zaoblení řezné hrany. Velikost tohoto zaoblení se volí podle obráběného materiálu, typu a druhu obrábění, případně podle deponovaného povlaku. Čím je ostřejší řezný klín, tím je větší pravděpodobnost vyštípnutí části břitu nebo odloupnutí deponované vrstvy. [3, 34]

Zaoblení se provádí po operaci broušení nástroje. Tento proces zanechává na hranách otřepy, které by byly iniciátory poruch ať už v deponované vrstvě nebo samotném substrátu. Řeznou hranu je možné zaoblovat několika způsoby. Jedná se například

o pískování, omílání, kartáčování, lapování, magnetické leštění, proudové broušení nebo použití laseru. Zejména první tři zmiňované procesy vnesou do povrchové vrstvy ještě tlakové napětí, které má pozitivní vliv na trvanlivost řezného nástroje. [9, 34]

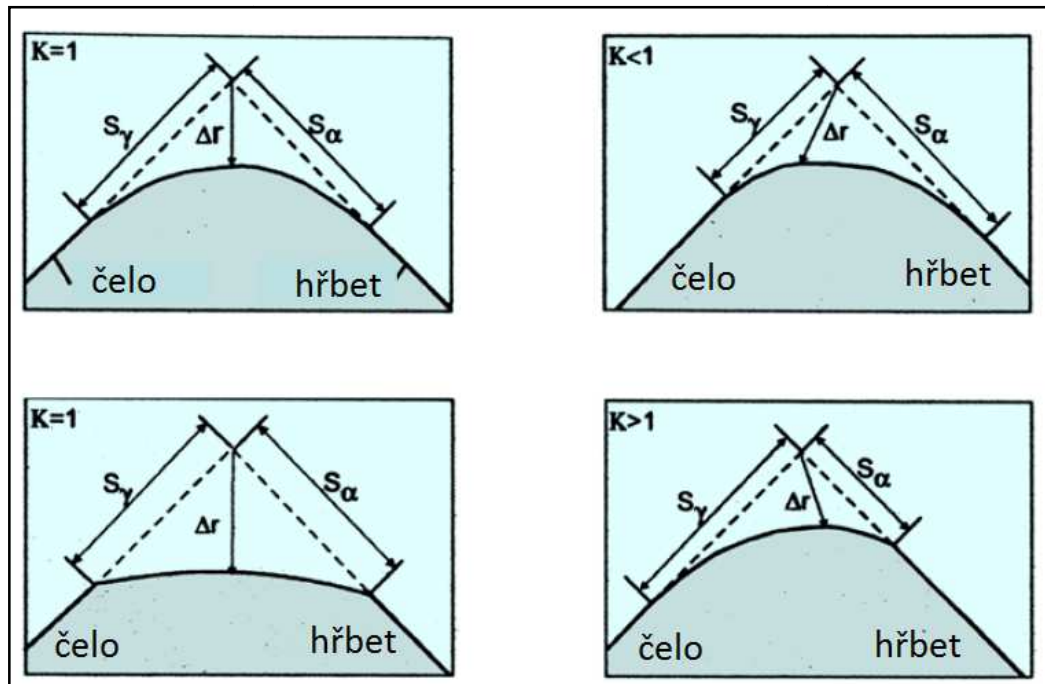
Existují 4 typy řezné hrany. První je **ostrá**, která je vhodná pro obrábění měkkých materiálů, slitin hliníku. Síla potřebná pro vniknutí břitu do materiálu je v porovnání s ostatními druhy řezné hrany nižší. Snížena je zároveň i pevnost ostří. Druhým typem jsou **zkosené**. Takto upravený břit má vysokou lomovou houževnatost řezné hrany na úkor zvýšené řezné síly. Třetím typem jsou **zaoblené** řezné hrany, u kterých je díky této úpravě zvýšená odolnost proti vylomení. Posledním jsou **kombinované**, kdy došlo ke spojení hran zkosených a zaoblených. Obrázek (Obr. 2.7) zobrazuje rozdělení a typy řezných hran. [9]



**Obr. 2.7** Schéma typů řezných hran. [9]

Velikost zaoblení se udává v mikrometrech ( $\mu\text{m}$ ). Při konstruování nástroje se musí dbát na správné navržení zaoblení, protože následná vrstva povlaku (PVD, CVD) toto zaoblení ještě zvětší.

Další parametr související se zaoblením je tzv. K faktor, který určuje poměr zaoblení čelní plochy nástroje  $S_\gamma$  k zaoblení hřbetní plochy nástroje  $S_\alpha$ . Se změnou K faktoru úzce souvisí průběh a velikost řezných sil při obrábění. Při  $K < 1$  je více napětí na hřbetu nástroje než při  $K > 1$ , kdy se napětí projevuje na čele nástroje. Na obrázku (Obr. 2.8) je znázorněno určení tohoto K faktoru. [9]



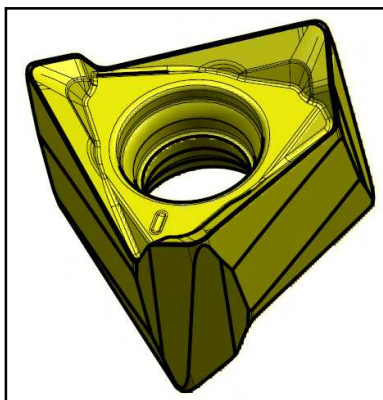
*Obr. 2.8 Určení K faktoru. [9]*

### 3 Návrh experimentální činnosti a její provedení

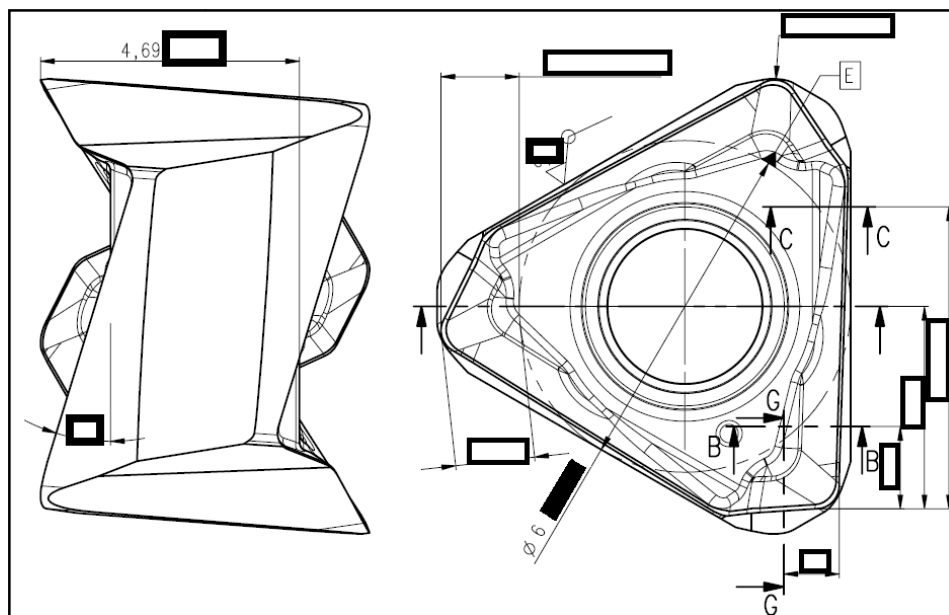
Náplní diplomové práce, je stanovení vlivu vlečného omílání na trvanlivost VBD povlakovaných PVD povlakem. V této kapitole budou rozepsány jednotlivé kroky praktické části diplomové práce. Bude popsána destička, na které se bude testování provádět, rozepsána též bude problematika vlečného omílání, omílací zařízení, nastavení parametrů omílání atd. Dále budou uvedeny informace o měřicích přístrojích a hodnotách, které se měřily.

#### 3.1 Předmět testování

Pro zkoumání technologie vlečného omílání byla vybrána VBD pro frézování s označením TNGX100404SR s utvařečem F – P03 (Obr. 3.1 a Obr. 3.2) se zaoblením řezné hrany  $35 \pm 5 \mu\text{m}$ . Na tomto typu destičky budou testovány rozličné parametry omílání, měření drsností, test trvanlivosti atd.



Obr. 3.1 VBD TNGX100404SR – F – P03.

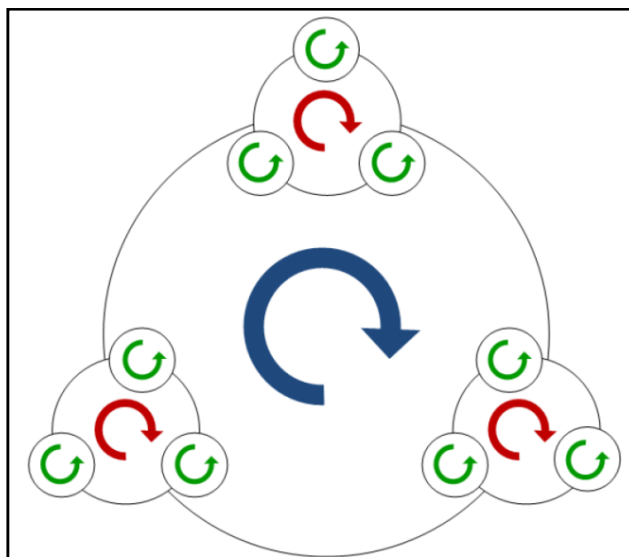


Obr. 3.2 Část výrobního výkresu pro VBD TNGX100404SR – F – P03.

### 3.2 Vlečné omílání

Vlečné omílání patří do skupiny omílání je proces, zlepšující kvalitu povrchu daných součástí. Co se týče jeho všeobecného použití, nalézá uplatnění například při odstraňování otřepů a okují, ostrých hran nebo nečistot a koroze. Tímto procesem dochází nejen ke změně vzhledu součástí, ale také upravení jejich funkční hrany a plochy. Hovoří-li se o obráběcích nástrojích, je zde důležité vytvoření nebo úprava řezné hrany, především její zaoblení. Dále také vyleštění povrchu, jenž snižuje jeho drsnost a s tím související další vlastnosti, jako teplotní zatížení čela nástroje při plastických deformacích obráběného materiálu a následného odvodu třísky atd. Velikost zaoblení a drsnost povrchu závisí na spoustě parametrů, jako je rychlost, hloubka a směr omílání, dále také použité médium a samozřejmě tvar, materiál a druh součásti, která je omílána. [35]

Vlečné omílání je nejintenzivnější druh omílání a je tedy vhodné i pro velmi tvrdé součásti, jako je slinutý karbid a povlaky, které se na něj nanášejí. Podstatou tohoto omílání je vlečení obrobků v nádobě s omílacím médiem. Každý obrobek je zvlášť upnut do rotující hlavy, čímž se zamezí styk obrobků a nehrozí jejich poškození. Dokonalý kontakt všech stran a hran zajišťuje planetový pohyb obrobku. Na obrázku (Obr. 3.3) lze vidět jednotlivé pohyby u vlečného omílání. [35]



**Obr. 3.3** Směr rotace obrobku při procesu vlečného omílání. [20]

### 3.2.1 Zařízení pro vlečné omílání

Pro výzkum bylo použito zařízení pro vlečné omílání vlastněné firmou DormerPramet, vyrobené německou společností OTEC präzisionsfinish GmbH. Konkrétně se pak jedná o základní model OTEC DF 3 (Obr. 3.4).



*Obr. 3.4 OTEC DF 3. [21]*

Tento stroj má jeden hlavní rotor se třemi vedlejšími, do kterých lze upnout po šesti součástech. Tudíž je možno omílat až 18 nástrojů současně. Nádoba pro omílací médium má objem 80 litrů. Součástí je také řídicí centrum, do kterého je možno uložit až 250 předdefinovaných parametrů omílání. Lze rovněž nastavit hloubku ponoru obrobku, rychlost vlečení médiem, naklonění hlavního rotoru, dobu omílání, směr omílání. Případně lze nastavit podprogram, který bude mít funkci například po skončení procesu omílání vyjet v ose Z nad hladinu média, rychleji roztočit obrobek, aby omílací médium opadalo z obrobku zpět do nádoby a ne mimo ni.

### 3.2.2 Média pro omílání

Existují různá média, z nichž každé je vhodné pro jinou potřebu. Zvolení toho správného je důležitý krok, protože se jedná o jeden z hlavních parametrů určujících ne jen časovou náročnost procesu, ale samozřejmě také výslednou drsnost a zaoblení nástroje/obrobku. Základní rozdělení je podle velikosti brusných a leštících částic. Čím jemnější zrna je, tím větší má médium leštící schopnost a menší brousící a obráceně. Dále



je rozdíl, jestli je omíláno suchým nebo mokrým procesem. Testované destičky budou omílány v suchém procesním médiu, bude proto uvedeno rozdělení pouze suchých médií.

- **TZM médium**

Je tvořeno polyuretanovými tělísky daných rozměrů, které mají ve svém obsahu i zrna SiC. Je vhodné zejména pro broušení než pro leštění.



*Obr. 3.5 TZM. [22]*

- **QZ W médium**

Granulát z ušlechtilého korundu, sloužící převážně k zaoblování hran nástrojů z tvrdokovu.



*Obr. 3.6 QZ W. [22]*

- **HSC granulát**

Jedná se o granulát z vlašských ořechů s tvrdými částicemi SiC. Vytváří velmi vysokou kvalitu povrchu. Slouží k leštění deponovaných povrchů, nástrojů z tvrdokovu, vytváření zaoblení řezné hrany do 15  $\mu\text{m}$ .



*Obr. 3.7 HSC. [22]*

- **H granulát**

Granulát z vlašských ořechů naimpregnovaných leštící pastou. Určeno zejména pro leštění barevných kovů, šperků, titanu. Velikost částic je od 0,2 do 6 mm.



*Obr. 3.8 H. [22]*

- **M granulát**

Procesní médium tvořené rozdrčenými zrny kukuřice, která jsou naimpregnované leštící pastou. Využití zejména pro leštění kloubních implantátů nebo povrchů motorových válců.



*Obr. 3.9 M. [22]*

- **LFP, DFP média**

Jedná se o plastové leštící kuličky, použitelné zejména pro leštění šperků především díky nulové prašnosti.



*Obr. 3.10 LFP, DFP. [22]*

Další příslušenství k médiím jsou leštící pasty a oleje. Pasty zajišťují potřebný úběr materiálu, oleje slouží především pro spojení unášecího média s abrazivem, pro snížení prašnosti a pro antikorozi ochranu obrobku.

Médium zvolené pro diplomovou práci nese označení HSC 1/300. Je složeno z drcených skořápek vlašských ořechů o velikosti 0,8 – 1,3 mm a zrn karbidu křemíku (SiC). Toto médium je vhodné zejména pro zaoblování řezné hrany nástrojů ze slinutých karbidů a to zejména díky vysoké tvrdosti a ostrosti hran zrn SiC. [22]

### 3.2.3 Parametry omílání

- **Doba omílání**

Jeden z hlavních parametrů procesu vlečného omílání. Čas, který stráví obrobek v procesním médiu, ovlivňuje výslednou drsnost povrchu a případné zaoblení řezné hrany. Je-li řeč o zaoblení, tak vztah mezi jeho velikostí a dobou omílání není lineárně závislý. Pokud trvá vytvoření zaoblení například 5  $\mu\text{m}$  na určitém materiálu za celkový čas 1 minutu, tak zaoblení 25  $\mu\text{m}$  nebude trvat pětkrát déle ale v řádu desítek minut. Přesný poměr záleží na ostatních parametrech.



- **Rychlost omílání**

Tento parametr určuje, jakým způsobem bude obrobek omlet. Při příliš vysoké rychlosti hrozí nerovnoměrné omletí povrchu, což má za následek nedostatečnou požadovanou drsnost. Může zapříčinit vylomení krystalů substrátu na hranách (břity) a dále také může zamezit přístupu média k některým plochám u tvarově složitějších obrobků. V opačném případě, při použití velmi nízké rychlosti vlečení obrobku médiem, nemají brusná zrna dostatečnou energii, aby narušila povrch omílané součásti.

- **Hloubka omílání**

Hloubka omílání patří rovněž do parametrů značně ovlivňujících intenzitu celého procesu. Čím hlouběji se obrobek ponoří, tím intenzivněji bude omílán, protože na něho bude působit větší sloupec média, než ve svrchních částech. Jelikož procesní médium vzdáleně připomíná kapalinu, dala by se velmi zhruba vyjádřit závislost intenzity omílání na hloubce pomocí hydrostatického tlaku.

- **Naklonění držáku nástroje**

Vzhledem k tomu, že některé nástroje nemohou být kvalitně vyleštěny s nulovým nakloněním držáku, nastavuje se tento držák v tangenciálním směru o úhel, závislý od tvaru obrobku. Změna tohoto úhlu pak napomůže lepšímu proudění procesního média ke všem plochám obrobku. Využití lze nalézt především u leštění drážek monolitních nástrojů, jako jsou vrtáky a frézky.

### **3.2.4 Přípravky pro omílání**

Jelikož je nutné destičku nějakým způsobem upnout, bylo potřeba navrhnout držák. Pro účel této diplomové práce byly navrženy dva typy držáků. Jeden je konstruován pouze pro jednu destičku, druhý až pro dvanáct (ve výsledku jsou použitelné pouze 4 pozice z důvodu rozdílné výšky/hloubky při omílání). Každý přípravek je upnut v kleštině rychloupínacího držáku, který se jednoduše a rychle vkládá do stroje. Oba typy držáků slouží pouze pro účely testování. V případě sériové výroby by byly použity jiné držáky, zajišťující větší efektivitu.

Zároveň byly držáky zkonstruovány tak, aby bylo omílání prováděno v extrémních hodnotách naklonění VBD. Znamená to tedy, že u jednoho držáku je osa upínacího otvoru vlečena kolmo ke hladině média, druhá je s ní rovnoběžná. Výsledky by měly ukázat, který držák je vhodnější pro omílání.

První **přímý** držák, je konstruován tak, že osa otvoru VBD leží při omílání kolmo ke hladině média za podmínky, že rotor není nakloněn o určitý úhel. Destička se tedy nasadí na trn se závitem a zajistí se matkou. Na obrázku (Obr. 3.11) je již upnut v kleštině a v rychloupínacím držáku.



***Obr. 3.11** Přímý držák s upnutou destičkou.*

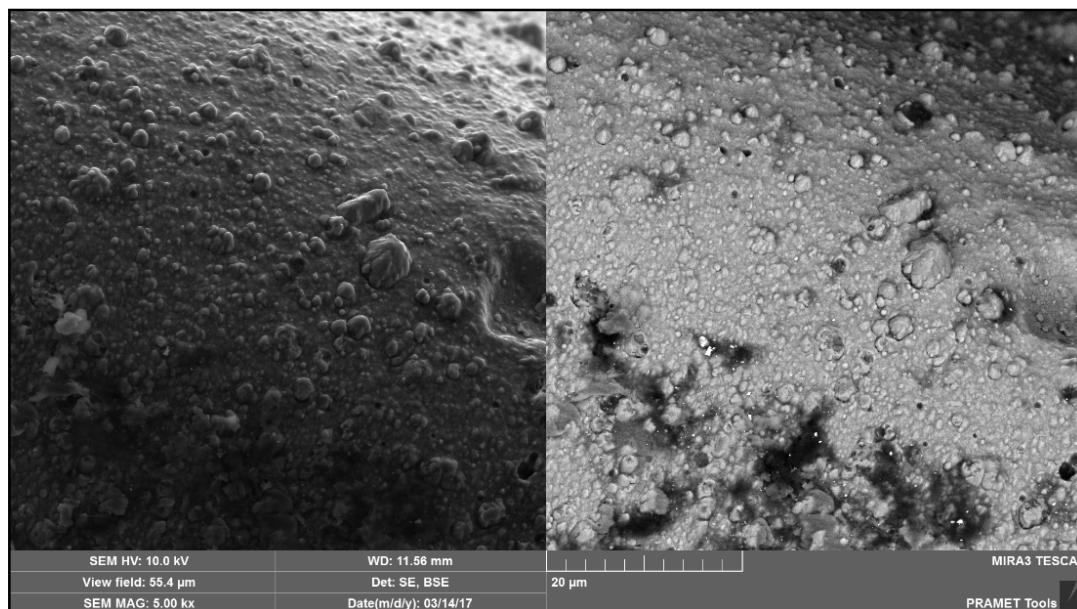
Při použití druhého **zahnutého** držáku (Obr. 3.12), leží osa VBD rovnoběžně s hladinou média. Opět platí pouze za podmínky, že není rotor nakloněn. Destička je opět navlečena na trnu se závitem a zajištěna matkou. Na ostatních závitech musí být rovněž matky a to kvůli ochraně závitu, který by byl v průběhu několika desítek omílání zdeformován.



***Obr. 3.12** Zahnutý držák s upnutou destičkou.*

### 3.3 Proces omílání TNGX100404SR – F – P03

Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, cílem tohoto zkoumání je odstranit z povrchu PVD povlaku deponované makročástice (Obr. 3.13), které snižují trvanlivost nástroje. Tyto vystouplé částice zkracují při samotném procesu obrábění životnost destičky. Jelikož zvyšují hodnotu drsnosti povrchu, zvyšuje se koeficient tření při vnikání břitů do obráběného materiálu a zvyšují se deformace a tím pádem i teplota. Se zkrácením trvanlivosti souvisí především to, že se makročástice z povrchu vyloupnou i s kusem povlaku. Ve většině případů se odloupnou všechny vrstvy PVD povlaku a obnaží se substrát, který má ve srovnání s povlakem daleko horší vlastnosti. Prvním krokem pro omílání bylo nalezení limitních hodnot, pro oba typy držáku, kdy se začnou odlupovat, případně se obrousí deponované vrstvy PVD povlaku.



**Obr. 3.13** Deponované makročástice v povrchu nanesené vrstvy.

#### 3.3.1 Nalezení limitních hodnot pro omílání

Vzhledem k tomu, že je testování trvanlivost VBD časově velmi náročné, nemohlo být vyrobeno velké množství vzorků s různými parametry nastavení. Proto byla po prvotních pokusech zvolena hloubka omílání 95 mm. Dále bylo vypuštěno naklopení obrobku v průběhu omílání. Držáky byly zkonstruovány tak, aby byl rozdíl při omílání co nejextrémnější. Na jednom je destička vlečena upínacím otvorem svisle na druhém kolmo, tedy horizontálně. Při prvních pokusech byla nastavena rychlost hlavního rotoru na 30 otáček za minutu a rychlost držáku 64 otáček za minutu. Po 10 minutách omílání byly patrné jen malé výsledky. Proto byla nastavena rychlost hlavního rotoru na 35 otáček za minutu a rychlost držáku 74 otáček za minutu. Po dvaceti minutách omílání bylo možné pozorovat porušení deponované vrstvy a její probušování při použití zahnutého držáku. U

přímého držáku bylo podobného výsledku dosaženo až na hranici 30 minut. Každý vzorek byl ihned po omletí očištěn a následně na dílně prozkoumán na optickém mikroskopu při padesátinásobném zvětšení. Výrobce Nikon, typ SMZ – 460 (Obr. 3.14).



**Obr. 3.14** Používaný optický mikroskop Nikon SMZ-460.

### 3.3.2 Sestavení tabulky omílacích hodnot a proces omílání

Po zjištění limitních hodnot a nastavení finálních parametrů mohlo dojít k rozložení časových hodnot pro jednotlivé vzorky omílání. Následující tabulka (Tab. 3.1) zobrazuje rozčlenění jednotlivých časů pro omílání při použití obou držáků.

**Tab. 3.1** Tabulka časů omílání.

	Čas [min]					
Přímý držák	2	5	10	15	25	35
Zahnutý držák	2	5	10	15	25	X

I když se očekává požadovaná změna v intervalu 5-15 minut, byly omlety vzorky nad i pod těmito hodnotami. Z každého času bylo procesem vlečného omílání připraveno pět vzorků. Do testování se ještě zapojila i skupina pěti VBD, které prošly procesem mokrého pískování. Celkový počet 65 kusů destiček uzavírá poslední pětice VBD, které jsou ve stavu, v jakém se dostávaly doposud k zákazníkovi – tedy pouze napovlakované.

### 3.4 Měření na elektronovém mikroskopu

Ihned po dokončení omílacího procesu byly destičky prohlédnuty a nafoceny na rastrovacím elektronovém mikroskopu MIRA 3 LM od výrobce Tescan (Obr. 3.15). Měření probíhalo v laboratořích firmy DormerPramet, která tento mikroskop vlastní. Ve svém způsobu se nejedná o plnohodnotné měření, protože výsledkem není číslo, ale jedná se pouze o obrazové porovnání povrchů VBD.



*Obr. 3.15 Rastrovací elektronový mikroskop MIRA 3 LM.[23]*

Z každé sady (5 kusů) byla vybrána jedna destička a na mikroskopu byla nafocena plocha čela, pohled na břit z čelní plochy a hřbetní plochy s pohledem na hlavní a vedlejší břit. Foceno bylo ve zvětšení 300x, 700x, 1000x, 2000x a 5000x. Vzniklo tedy přes 100 fotografií, které zde nebudou z důvodu velkého objemu dat uvedeny všechny. V příloze této práce bude vyobrazeno několik fotografií při jednom zvětšení, aby bylo možno porovnat, jakým způsobem ovlivnil proces omílání povrch VBD. Před každým focením musela být destička dokonale očištěna, aby na ni nezůstaly zbytky prachu z omílacího média, mastnota z prstů, zbytky kůže atd. Čištění probíhalo v malé speciální čističce, která byla v místnosti s mikroskopem.

### 3.5 Měření na Alicona Infinite Focus

Veškeré naměřené číselné hodnoty, týkající se drsnosti povrchu, zaoblení řezné hrany, poměry děr a vrcholů atd., byly měřeny na měřicím přístroji Alicona Infinite Focus. Co se drsnosti povrchu týče, většina přístrojů ji dovoluje stanovit pouze profilově – v jedné řezové rovině, což nemá potřebnou vypovídající hodnotu. Pokud by na měřeném vzorku byl nějaký vrub a touto metodou by byla změřena hodnota mimo tuto vadu, byla by naměřená hodnota drsnosti daleko nižší, než ve skutečnosti je. Drsnost by se proto touto

metodou musela změřit na více místech a následné naměřené hodnoty by bylo nutné zpracovat do jednoho konkrétního výsledku. Takový způsob však stále není dostatečně přesný a navíc je časově náročný.

Princip přístroje Alicona Infinite Focus (Obr. 3.16) spočívá v optickém 2D i 3D skenování plochy součásti. Nejedná se tedy o měření profilové drsnosti, ale o komplexní plošnou drsnost. Pomocí osvětlovacích prstenců lze měřenou součást nasvětlit, což zajišťuje vysokou přesnost. Po nasvětlení, zaostření, nastavení výchozích parametrů již celé měření probíhá automaticky a zaručuje spolehlivou opakovatelnost měření. Není tedy nutné, aby s danými vzorky musela pracovat pouze jedna osoba, která by zamezila ovlivnění naměřených hodnot lidským faktorem. Veškeré parametry jsou nastavitelné číselnou hodnotou. Ovládání přístroje je kompletně řešeno přes software v počítači a přes joystick ovládající posuv stolu a kolébky, na kterých je upevněn měřený předmět. Po skončení měření se výsledné hodnoty zapíší do přehledných tabulek a grafů. Případně je také možné si nechat vykreslit 3D sken daného měřeného objektu. Přístroj si sám naskenuje povrch předmětu v několika řezových rovinách. Jejich počet se dá nastavit a ovlivňuje výslednou přesnost, ale zároveň také časovou náročnost úkonu. [24, 25]



**Obr. 3.16** Alicona Infinite Focus. [26]

Největší problém při měření nastával tehdy, nasvětlovala-li destička. Při neupravené, pouze napovlakované VBD se drsnost měřila snáze a to z důvodu, že plochy nebyly vyleštěny do vysokého lesku tak, jak tomu bylo u VBD, které prošly procesem vlečného omílání. Vysoký lesk totiž zapříčinil vysokou odrazivost přídavného osvětlení.



Pro měření destiček bylo využito magnetického držáku (hřídelky), která byla upnuta ve sklíčidle přístroje. Toto sklíčidlo umožňuje jednak rotaci, posuv v osách x, y, z, ale také náklon. Díky tomu je možné dosáhnout snadného nastavení pozice pro měření. V počátcích projektu bylo uvažováno nad výrobou přípravku pomocí 3D tisku pro snazší a rychlejší měření. Přípravek byl vytištěn, ale ve finále se ukázalo použití magnetického držáku (Obr. 3.17) uživatelsky přívětivější a rychlejší.



*Obr. 3.17 Magnetický držák s upnutou destičkou.*

- **Měřené hodnoty** [19]

**Sa** [ $\mu\text{m}$ ] – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného topografického profilu.

**Sq** [ $\mu\text{m}$ ] – průměrná kvadratická úchylka posuzovaného topografického povrchu.

**Sz** [ $\mu\text{m}$ ] – největší výška profilu posuzovaného topografického profilu.

**V<sub>vv</sub>** [ $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$ ] – prázdný objem prohlubně pod jádrem drsnosti.

**V<sub>mp</sub>** [ $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$ ] – objem materiálu výstupku na jednotku plochy povrchu.

**Spk** [ $\mu\text{m}$ ] – průměrná/redukovaná výška peaků/vrcholků nad jádrem drsnosti.

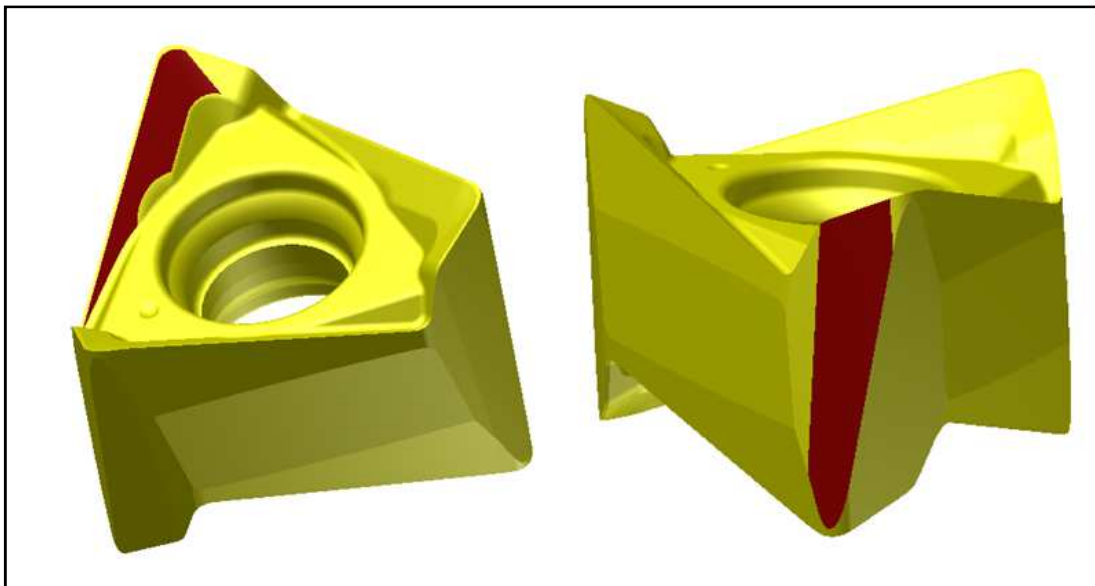
**Svk** [ $\mu\text{m}$ ] – průměrná/redukovaná hloubka údolí/prohlubní pod jádrem drsnosti.

### 3.5.1 Naměřené hodnoty

Dle dřívějších testů trvanlivosti destičky TNGX100404SR – F – P03 bude měření probíhat na čele a vedlejším hřbetu, protože právě zde dochází k největšímu poškození destičky.

V následujících tabulkách (Tab. 3.2 – Tab. 3.5) jsou uvedeny naměřené hodnoty čela a hřbetu destičky pro přímý (PD) a zahnutý (ZD) držák. Číslo za zkratkou určuje počet minut strávených v omílacím přístroji OTEC DF3. V prvním řádku jsou vždy naměřené hodnoty pro destičku bez jakýchkoliv úprav, tzn. tak jak se dostane k zákazníkovi. Zkratka P11 je destička s vyleštěným povrchem pomocí procesu mokrého pískování. Následující řádky vyobrazují hodnoty pro daný typ držáku, seřazené od nejkratší doby omílání po nejdelší.

Obě měření byla provedena při zvětšení 50x. Přístroj Alicona InfiniteFocus měří při tomto zvětšení minimálně na ploše o rozměru 0,32 x 0,32 mm. Jelikož má čelo větší plochu, mohlo být měření provedeno na třech polích o celkové velikosti 0,96 x 0,32 mm. Dále bylo nastaveno vertikální rozlišení v rozmezí  $VR = (0,1 - 0,11) \mu m$  a horizontální rozlišení  $LR = (1,8 - 1,9) \mu m$ . Katofiltr  $\lambda_c$  byl zvolen 200  $\mu m$  podle destičky s nejnižší drsností. Na obrázku (Obr. 3.18) jsou vyznačeny měřené plochy čela (vlevo) a hlavního hřbetu (vpravo) na VBD.



**Obr. 3.18** Vyznačené měřené plochy. Zleva čelo, hlavní hřbet.



**Tab. 3.2** - Naměřené hodnoty čela pro přímý držák.

Destička	Čelo						
	Sa $\mu\text{m}$	Sq $\mu\text{m}$	Sz $\mu\text{m}$	Vvv $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$	Vmp $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$	Spk $\mu\text{m}$	Svk $\mu\text{m}$
<b>Bez úpravy</b>	0,316	0,500	11,727	0,043	0,034	0,659	0,373
	0,280	0,363	5,510	0,043	0,021	0,419	0,413
	0,276	0,355	4,625	0,040	0,018	0,361	0,382
<b>P11</b>	0,298	0,380	5,191	0,047	0,017	0,336	0,432
	0,283	0,354	4,054	0,041	0,016	0,314	0,363
	0,335	0,429	4,753	0,056	0,018	0,356	0,520
<b>PD-2</b>	0,300	0,387	3,729	0,053	0,017	0,332	0,523
	0,261	0,334	3,805	0,041	0,017	0,340	0,368
	0,267	0,334	3,546	0,040	0,013	0,235	0,355
<b>PD-5</b>	0,286	0,372	4,732	0,048	0,017	0,350	0,488
	0,232	0,303	4,073	0,037	0,014	0,276	0,366
	0,287	0,367	4,446	0,044	0,017	0,327	0,406
<b>PD-10</b>	0,292	0,368	4,398	0,043	0,016	0,327	0,378
	0,290	0,368	4,864	0,049	0,015	0,290	0,444
	0,223	0,283	3,450	0,032	0,015	0,295	0,270
<b>PD-15</b>	0,313	0,404	4,237	0,052	0,019	0,381	0,507
	0,301	0,382	3,976	0,040	0,021	0,423	0,342
	0,262	0,339	6,214	0,040	0,016	0,315	0,395
<b>PD-25</b>	0,245	0,321	4,318	0,041	0,015	0,292	0,410
	0,270	0,362	4,574	0,050	0,015	0,295	0,522
	0,270	0,365	4,493	0,049	0,015	0,303	0,547
<b>PD-35</b>	0,257	0,337	3,692	0,045	0,015	0,289	0,448
	0,255	0,323	3,398	0,041	0,014	0,264	0,381
	0,273	0,359	5,106	0,045	0,016	0,308	0,453

*Tab. 3.3 – Naměřené hodnoty hřbetu pro přímý držák.*

Destička	Hřbet						
	Sa $\mu\text{m}$	Sq $\mu\text{m}$	Sz $\mu\text{m}$	Vvv $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$	Vmp $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$	Spk $\mu\text{m}$	Svk $\mu\text{m}$
Bez úpravy	0,170	0,226	3,528	0,023	0,015	0,308	0,206
	0,175	0,242	5,763	0,024	0,017	0,343	0,229
	0,170	0,250	8,677	0,024	0,018	0,352	0,223
P11	0,207	0,277	6,782	0,038	0,011	0,210	0,387
	0,198	0,258	5,150	0,034	0,011	0,214	0,337
	0,188	0,240	3,031	0,032	0,010	0,197	0,305
PD-2	0,199	0,279	4,795	0,038	0,011	0,204	0,396
	0,166	0,217	8,407	0,027	0,010	0,206	0,239
	0,201	0,270	5,047	0,032	0,013	0,270	0,320
PD-5	0,181	0,229	2,879	0,028	0,011	0,214	0,248
	0,189	0,248	3,803	0,031	0,011	0,217	0,313
	0,174	0,223	2,824	0,029	0,010	0,198	0,268
PD-10	0,249	0,316	4,074	0,040	0,013	0,251	0,377
	0,249	0,319	9,596	0,037	0,013	0,246	0,326
	0,238	0,297	4,227	0,036	0,011	0,201	0,335
PD-15	0,206	0,275	5,280	0,038	0,013	0,254	0,386
	0,200	0,254	2,903	0,032	0,011	0,210	0,293
	0,234	0,307	4,569	0,044	0,012	0,239	0,445
PD-25	0,216	0,312	7,367	0,049	0,010	0,183	0,575
	0,204	0,276	4,210	0,040	0,010	0,196	0,432
	0,245	0,343	4,249	0,057	0,010	0,195	0,445
PD-35	0,247	0,326	5,350	0,046	0,013	0,264	0,459
	0,200	0,312	4,564	0,050	0,011	0,222	0,572
	0,186	0,248	3,499	0,035	0,010	0,186	0,369

*Tab. 3.4 – Naměřené hodnoty čela pro zahnutý držák.*

Destička	Čelo						
	Sa $\mu\text{m}$	Sq $\mu\text{m}$	Sz $\mu\text{m}$	Vvv $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$	Vmp $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$	Spk $\mu\text{m}$	Svk $\mu\text{m}$
Bez úpravy	0,316	0,500	11,727	0,043	0,034	0,659	0,373
	0,280	0,363	5,510	0,043	0,021	0,419	0,413
	0,276	0,355	4,625	0,040	0,018	0,361	0,382
P11	0,298	0,380	5,191	0,047	0,017	0,336	0,432
	0,283	0,354	4,054	0,041	0,016	0,314	0,363
	0,335	0,429	4,753	0,056	0,018	0,356	0,520
ZD-2	0,277	0,356	4,974	0,042	0,015	0,282	0,416
	0,222	0,281	4,340	0,034	0,013	0,254	0,296
	0,267	0,351	5,512	0,046	0,014	0,275	0,460
ZD-5	0,289	0,388	4,710	0,056	0,016	0,322	0,595
	0,310	0,392	3,948	0,052	0,014	0,254	0,497
	0,357	0,450	4,515	0,053	0,020	0,402	0,470
ZD-10	0,338	0,431	5,218	0,056	0,019	0,370	0,513
	0,342	0,431	3,942	0,050	0,021	0,416	0,435
	0,318	0,404	3,883	0,050	0,018	0,347	0,467
ZD-15	0,310	0,405	4,922	0,056	0,015	0,288	0,553
	0,304	0,387	4,122	0,050	0,016	0,314	0,455
	0,340	0,433	5,154	0,052	0,021	0,420	0,478
ZD-25	0,340	0,433	5,111	0,055	0,018	0,350	0,508
	0,325	0,413	4,386	0,050	0,019	0,367	0,460
	0,323	0,410	4,608	0,048	0,020	0,396	0,424

**Tab. 3.5** – Naměřené hodnoty hřbetu pro zahnutý držák.

Destička	Hřbet						
	Sa $\mu\text{m}$	Sq $\mu\text{m}$	Sz $\mu\text{m}$	Vvv $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$	Vmp $\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}$	Spk $\mu\text{m}$	Svk $\mu\text{m}$
<b>Bez úpravy</b>	0,170	0,226	3,528	0,023	0,015	0,308	0,206
	0,175	0,242	5,763	0,024	0,017	0,343	0,229
	0,170	0,250	8,677	0,024	0,018	0,352	0,223
<b>P11</b>	0,207	0,277	6,782	0,038	0,011	0,210	0,387
	0,198	0,258	5,150	0,034	0,011	0,214	0,337
	0,188	0,240	3,031	0,032	0,010	0,197	0,305
<b>ZD-2</b>	0,150	0,195	3,029	0,027	0,009	0,172	0,256
	0,145	0,190	3,861	0,026	0,008	0,165	0,254
	0,153	0,203	4,975	0,026	0,009	0,168	0,256
<b>ZD-5</b>	0,172	0,224	4,184	0,027	0,010	0,206	0,253
	0,175	0,241	5,946	0,028	0,011	0,224	0,292
	0,209	0,284	5,328	0,038	0,013	0,269	0,402
<b>ZD-10</b>	0,232	0,299	5,288	0,041	0,012	0,224	0,398
	0,202	0,285	2,273	0,042	0,011	0,212	0,444
	0,217	0,303	7,052	0,041	0,012	0,245	0,446
<b>ZD-15</b>	0,183	0,226	4,078	0,024	0,009	0,169	0,194
	0,255	0,343	4,558	0,052	0,012	0,239	0,554
	0,171	0,220	3,675	0,029	0,010	0,189	0,271
<b>ZD-25</b>	0,220	0,285	3,112	0,037	0,015	0,307	0,338
	0,250	0,316	3,675	0,043	0,010	0,180	0,398
	0,240	0,314	5,097	0,042	0,012	0,218	0,443

### 3.6 Zkouška trvanlivosti

Zkouška trvanlivosti byla provedena ve zkušebním centru společnosti DormerPramet na frézce MCV 1270 Power od výrobce Kovosvit MAS (Obr. 3.19). Jedná se o vysokorychlostní vertikální obráběcí centrum, které disponuje vysoce tuhým rámem vhodným pro silové obrábění.



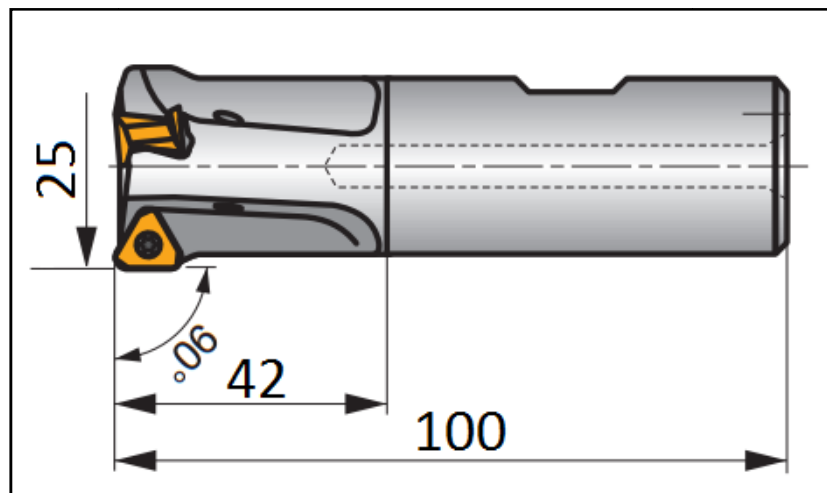
*Obr. 3.19 Frézka MCV 1270 Power. [27]*

Jako nástroj byla použita stopková fréza 25A4R042B25-STN10-C o průměru 25 mm pro 4 VBD (Obr. 3.20). Frézováno bylo vždy jen s jednou destičkou a podle toho byly upraveny i řezné podmínky stanovené normou ISO 3685.



*Obr. 3.20 Stopková fréza s nasazenou testovanou VBD.[28]*

Následující obrázek (Obr. 3.21) udává rozměry stopkové frézy.



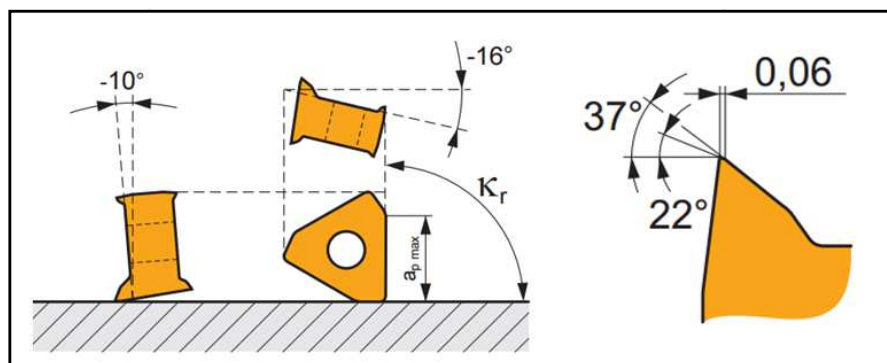
**Obr. 3.21** Rozměry frézy.[28]

Jako obráběný materiál (Obr. 3.22) použitý pro zkoušku byla použita ušlechtilá uhlíková ocel 12050.9, C45 (DIN 1.1191).



**Obr. 3.22** Obráběný materiál 12050.9.

Obrázek (Obr. 3.23) vyobrazuje ustavení VBD při obrábění a detail řezného klínu. Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  je  $90^\circ$  a maximální hloubka záběru  $a_{p \max}$  pak 5 mm.



**Obr. 3.23** Detail ostří a ustavení VBD při frézování.[28]

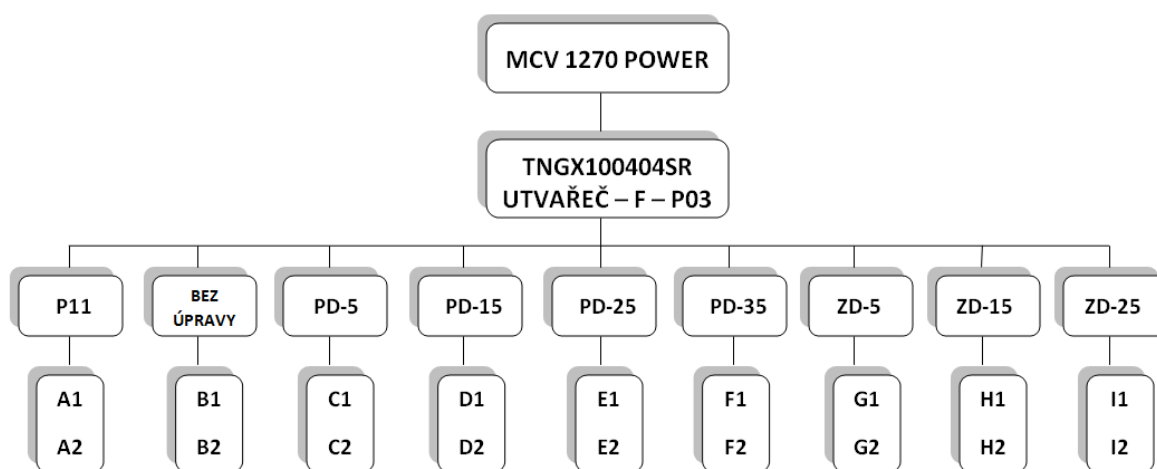
### 3.6.1 Řezné podmínky

Následující tabulka (Tab. 3.6) ukazuje řezné podmínky pro frézování.

**Tab. 3.6** Řezné podmínky

Označení/poznámka	Označení	Jednotky	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c$	$m \cdot min^{-1}$	240
Otáčky	$n$	$min^{-1}$	3056
Posuv na zub	$f_{zub}$	$mm \cdot zub^{-1}$	0,2
Posuv minutový	$f_{min}$	$mm \cdot min^{-1}$	611
Hloubka řezu	$a_p$	mm	2
Šířka frézovací plochy	$a_e$	mm	24
Počet záběrů	$i$	-	4
Délka záběru	$l$	mm	800
Procesní kapalina	-	-	NE
Čas jednoho záběru	-	min	5,2

Na obrázku níže (Obr. 3.24) je zobrazeno blokové schéma průběhu zkoušky trvanlivosti.



**Obr. 3.24** Blokové schéma průběhu zkoušky.

### 3.6.2 Kritéria opotřebení a průběh zkoušky trvanlivosti

Zkouška trvanlivosti byla provedena v souladu s normou ISO 3685. Jako kritérium opotřebení byl stanoven čas obrábění  $t_{As} = 36$  minut nebo opotřebení hlavního břitu  $VB_B = 0,3$  mm, vedlejšího břitu  $VB_C = 0,6$  mm, případně opotřebení hladícího břitu  $VB_2 = 0,25$  mm, kdy při dosažení alespoň jedné z kritických hodnot znamená zastavení obrábění. Při testování však byla pozorována i plocha čela a jiné projevy, které by vedly ke ztrátě řezivosti.

Pro toto měření opotřebení nástroje byla použita přímá mikroskopická metoda, jež spočívá v přímém měření lineárních rozměrů. Nevýhoda této metody je nemožnost měření v reálném čase, tudíž se VBD vždy po vyjetí z jednoho záběru (5,2 minut) z frézy vyjmula a následně byla proměřena na dílenském mikroskopu a fotograficky zdokumentována. Po měření byla zpět namontována do frézy a test pokračoval dále, až po dosažení jednoho z výše uvedených kritérií opotřebení.

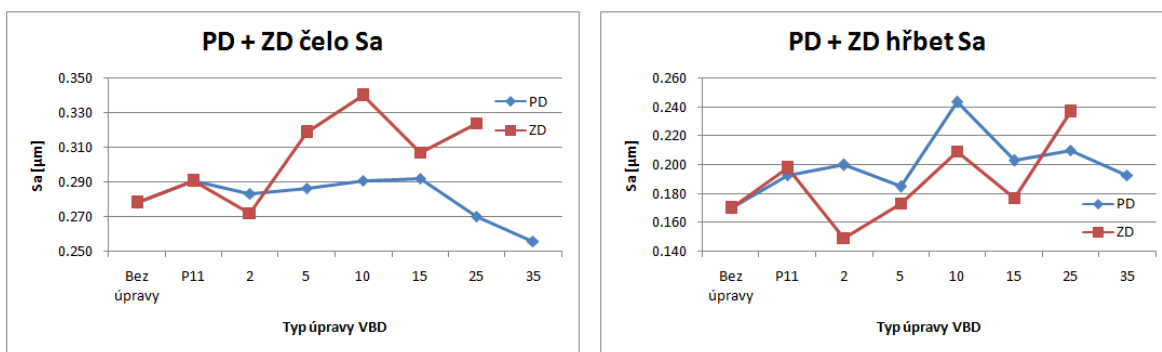


## 4 Zpracování výsledků a zhodnocení naměřených dat

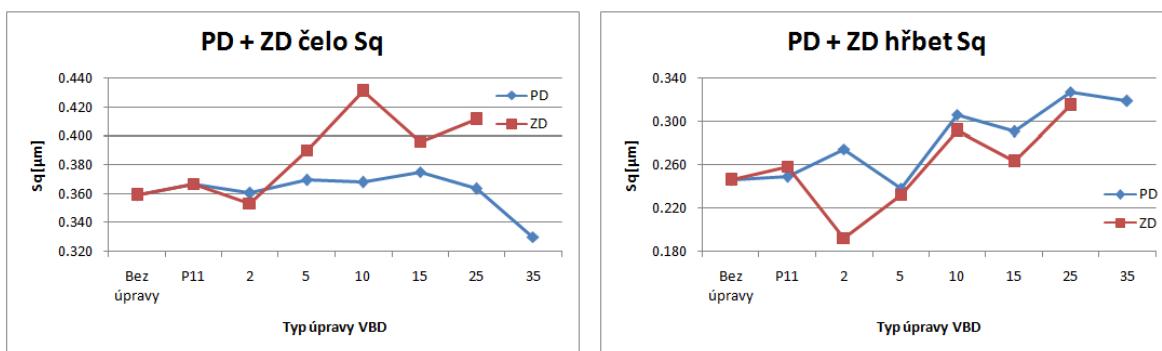
Tato kapitola obsahuje zpracované výsledky z naměřených hodnot jednotlivých zkoušek. Jedná se tedy o grafické závislosti jednotlivých hodnot z Alicona InfiniteFocus, dále porovnání snímků z rastrovacího elektronového mikroskopu MIRA 3 LM a v neposlední řadě nejdůležitější výsledky zkoušky trvanlivosti.

### 4.1 Grafické vyhodnocení naměřených hodnot z Alicona InfiniteFocus

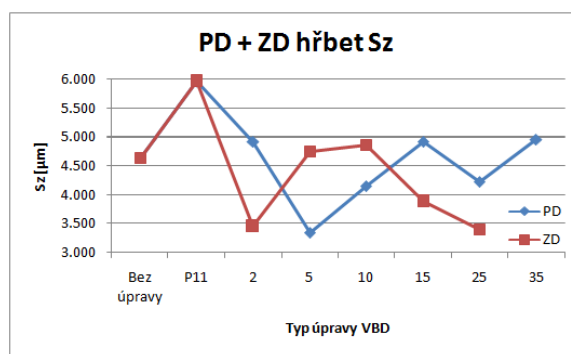
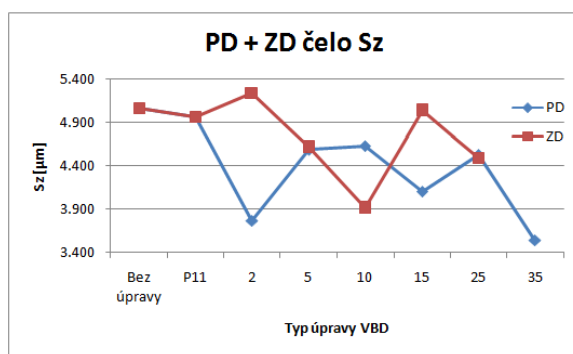
Z každé sady měření byla vyškrtuta jedna nejodlišnější hodnota a ze zbylých dvou byla vytvořena průměrná hodnota. Následně byly vytvořeny grafické závislosti, aby byl průběh naměřených hodnot snadněji pozorovatelný. Nejvíce lze pozorovat změny při měření Spk a Svk, tedy výška vrcholů a hloubka prohlubní (Graf 4.6 a Graf 4.7). Omíláním se totiž makročástice vytrhnou z povrchu povlaku a místo vrcholku vznikne díra. Lze tedy pozorovat výrazný pokles vrcholů a nárůst prohlubní při úpravě povrchu, jak při použití procesu mokrého pískování, tak vlečného omílání.



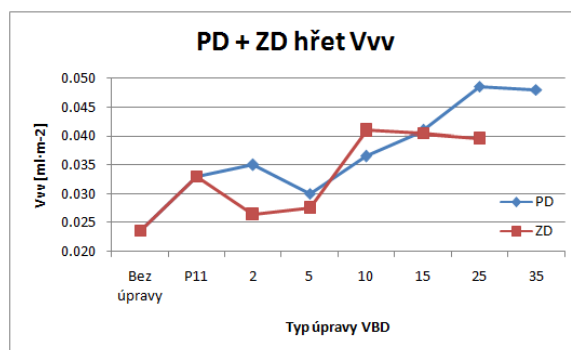
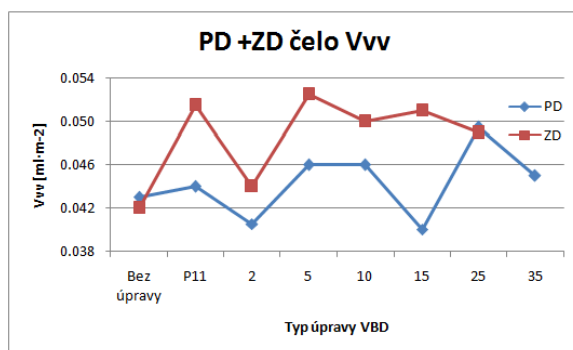
*Graf 4.1 Hodnoty Sa na čele a hřbetu VBD.*



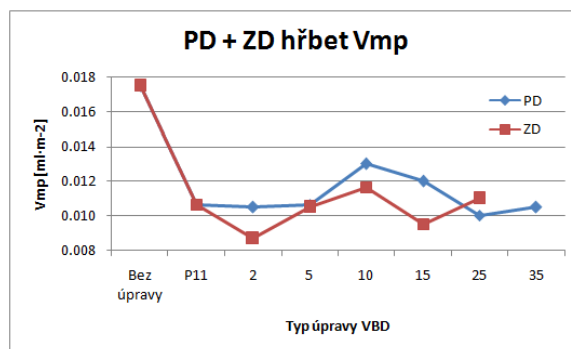
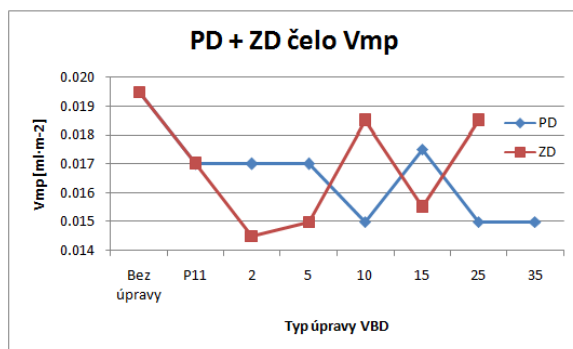
*Graf 4.2 Hodnoty Sq na čele a hřbetu VBD.*



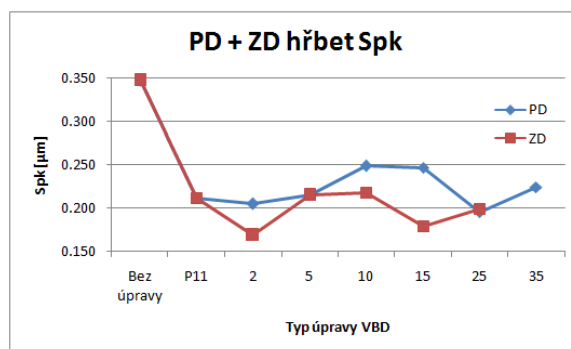
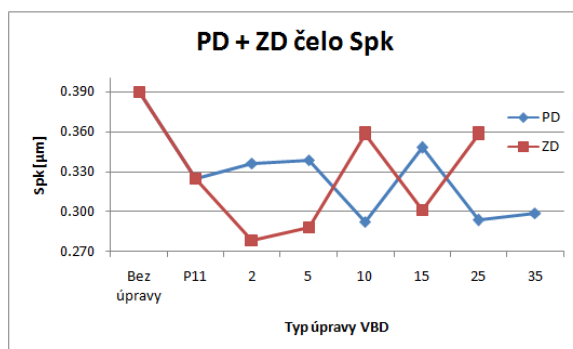
*Graf 4.3 Hodnoty Sz na čele a hřbetu VBD.*



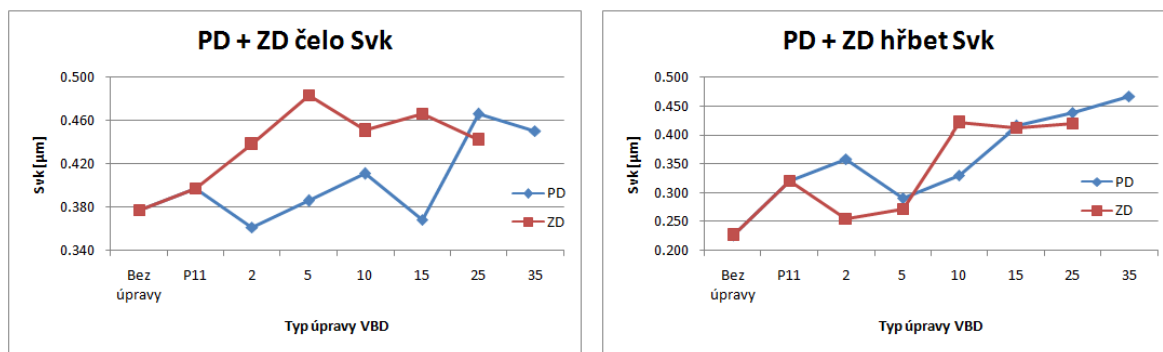
*Graf 4.4 Hodnoty Vvv na čele a hřbetu VBD.*



*Graf 4.5 Hodnoty Vmp na čele a hřbetu VBD.*



*Graf 4.6 Hodnoty Spk na čele a hřbetu VBD.*

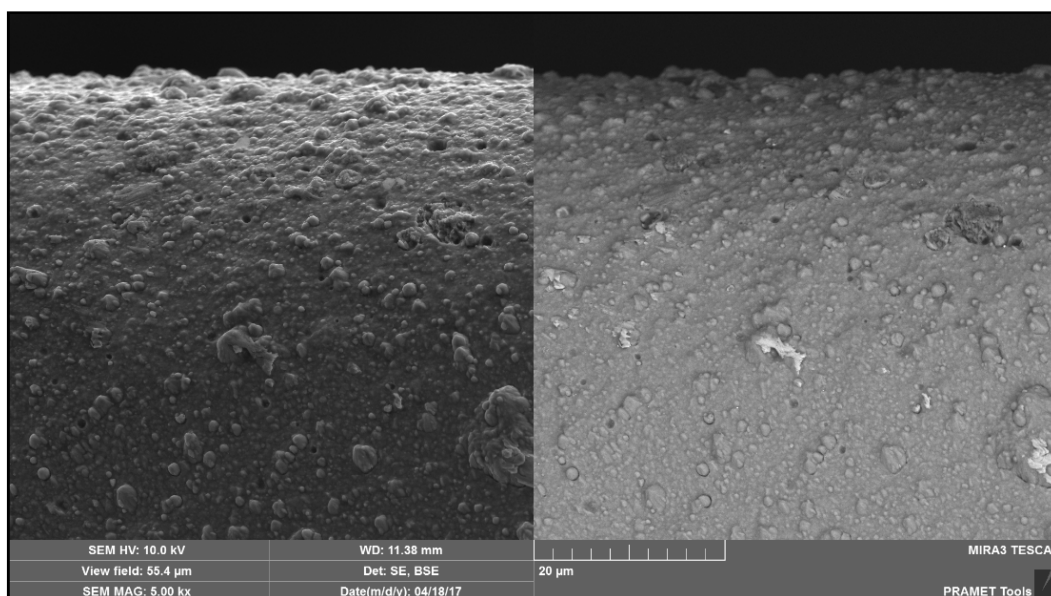


**Graf 4.7** Hodnoty SvK na čele a hřbetu VBD.

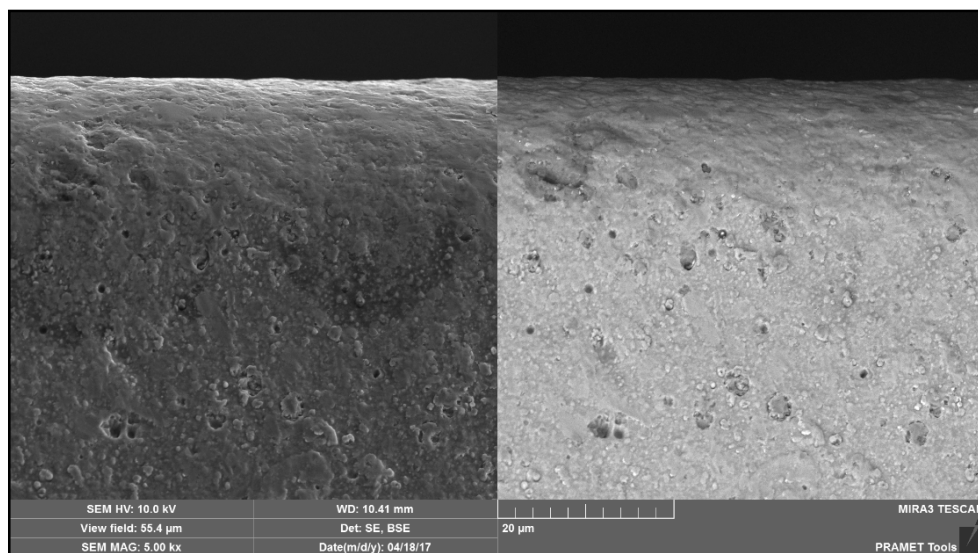
Stejně tak lze pozorovat snížení objemu vrcholů ( $V_{mp}$ ) a zvýšení objemu prohlubní ( $V_{vv}$ ) (Graf 4.4 a Graf 4.5). Opět je to dáno tím, že při omílání se odstraní makročástice z povrchu deponované vrstvy, ale na místě původních vrcholů vzniknou prohlubně. Změny je možné pozorovat v následující podkapitole, kde jsou porovnány fotografie z elektronového mikroskopu.

## 4.2 Vizuální porovnání povrchů vybraných metod

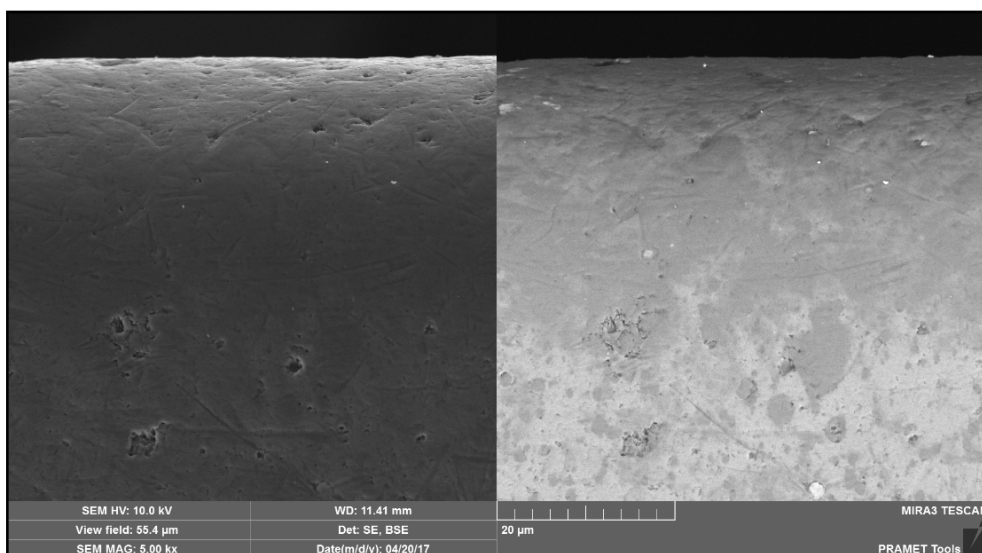
Na následujících obrázcích (Obr. 4.1 – Obr. 4.4) jsou zobrazeny fotografie z elektronového mikroskopu. Foceno je z pohledu hlavního hřbetu na řeznou hranu. Obrázky zachycují VBD s neupraveným povlakem, mokře pískovanou P11 a omletou PD10 + ZD10 při zvětšení 5000x.



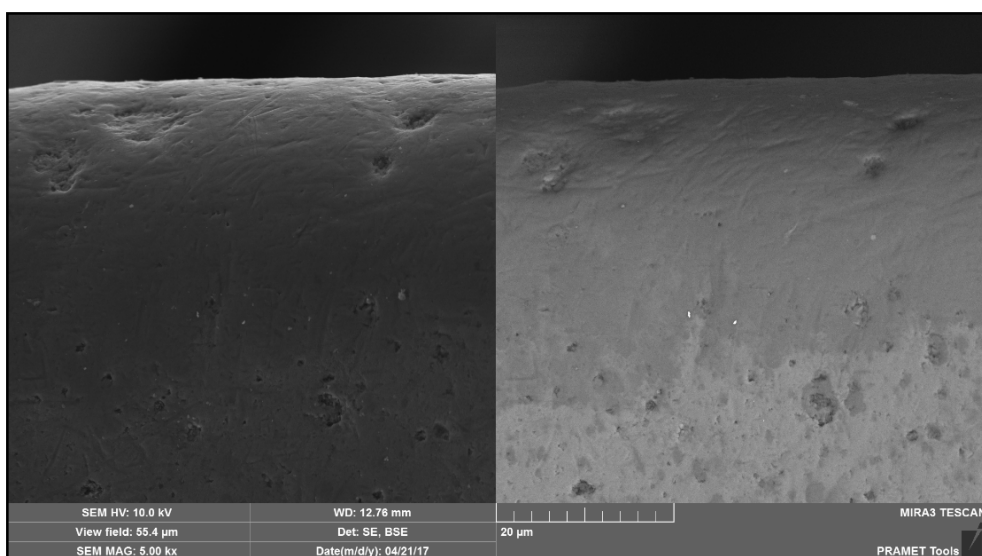
**Obr. 4.1** Povrch neupravené VBD.



**Obr. 4.2** Povrch VBD upravené procesem mokrého pískování P11.



**Obr. 4.3** Povrch VBD upravené procesem vlečného omílání PD10.



**Obr. 4.4** Povrch VBD upravené procesem vlečného omílání ZD10.

### 4.3 Zkouška trvanlivosti

Následující tabulka (Tab. 4.1) vyobrazuje protokol o zkoušce trvanlivosti. Jsou v ní uvedeny doby trvanlivosti jednotlivých destiček, jejich průměr pro každou sadu, řezivost a rozptyl jednotlivých hodnot měření. Barevně je vyznačena etalonová destička bez úpravy povrchu TNGX100404SR – F – P03.

**Tab. 4.1** – Protokol zkoušky obrábění.

Typ úpravy	Vzorek	T [min]	T - průměr [min]	K - řezivost	Rozptyl
P11	A1	36,0	36,2	103%	0,6%
	A2	36,4			
Bez úpravy	B1	33,9	35,0	100%	3,0%
	B2	36,0			
PD5	C1	34,0	35,6	102%	4,5%
	C2	37,2			
PD15	D1	26,0	30,1	86%	13,5%
	D2	34,1			
PD25	E1	33,8	33,3	95%	1,5%
	E2	32,8			
PD35	F1	33,9	33,9	97%	0,0%
	F2	33,9			
ZD5	G1	22,5	28,1	80%	19,9%
	G2	33,7			
ZD15	H1	32,5	34,2	98%	5,0%
	H2	35,9			
ZD25	I1	33,8	29,9	85%	13,0%
	I2	26,0			

Při zkouškách trvanlivosti se nakonec vypustila varianta PD – 2 minuty a ZD – 2 minuty a to především z časových důvodů. Testy se začínaly dělat až od varianty omílání 5 minut a více. VBD omílané 2 minuty bylo v plánu otestovat až po skončení ostatních testů a to pouze v případě, zvýší-li se trvanlivost ostatních destiček. Při posledním testu došlo k destrukci frézy, ale z výsledků bylo patrné, že již není potřeba poslední destičku testovat. Jak je možno pozorovat, nejlepšího výsledku dosáhla destička, u které byl povlak upraven pomocí metody mokrého pískování. Nejedná se ale o nějaké velké rozdíly. Celkově test dopadl s rozdílem několika jednotek procent. Největším rozdílem bylo

zhoršení o 20 %, ale pouze z toho důvodu, že došlo k předčasné destrukci VBD, kterou způsobila s největší pravděpodobností vada v obráběném materiálu.

Následující tabulka (Tab. 4.2) ukazuje, jaký druh opotřebení znamenal konec testu pro každou destičku.

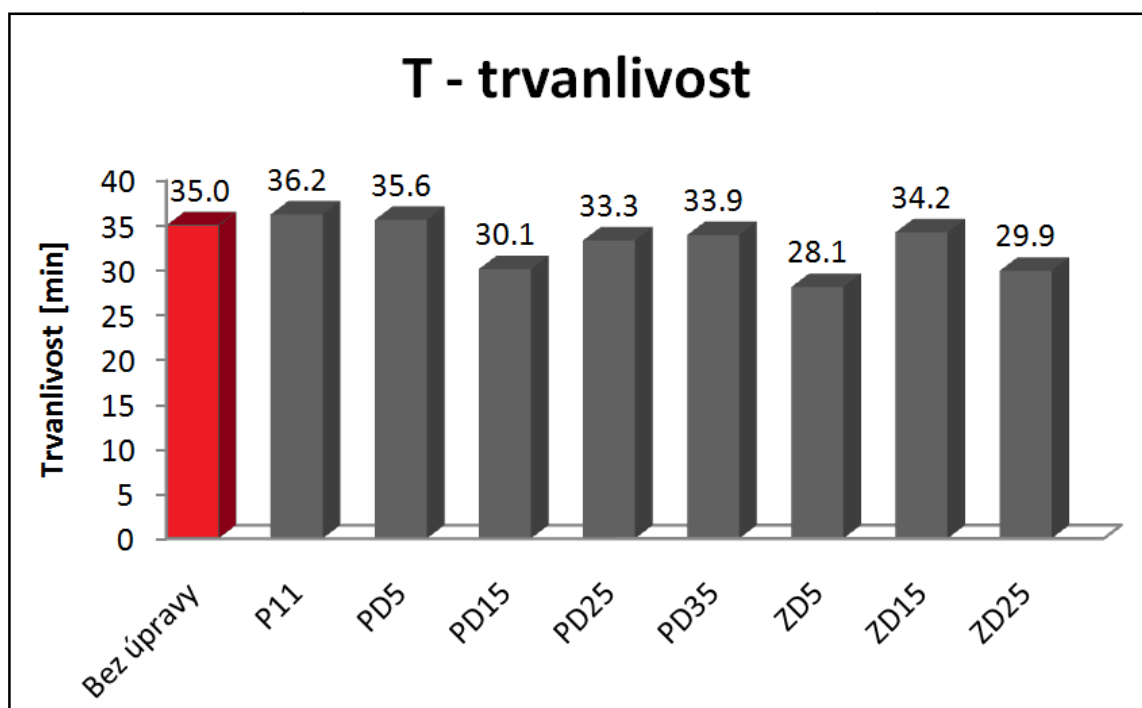
**Tab. 4.2 – Vyobrazení druhu opotřebení na jednotlivých testovaných VBD.**

Destička + úprava	Vzorek	T [min]	Druh opotřebení, důvod ukončení atd.
P11	A1	36,0	Výmol na čele, vylomená větší část hlavního břitu.
	A2	36,4	Výmol na čele, vyštípaný hlavní břit.
Bez úpravy	B1	33,9	Porušen hladící břit.
	B2	36,0	Výmol na čele.
PD5	C1	34,0	Výmol na čele, porušen hlavní a hladící břit.
	C2	37,2	Porušen hladící břit.
PD15	D1	26,0	Výmol na čele, vylomený hlavní břit na konci záběru.
	D2	34,1	Výmol na čele, vylomený hlavní břit na konci záběru.
PD25	E1	33,8	Vylomený hladící břit.
	E2	32,8	Výmol na čele, porušen hladící břit.
PD35	F1	33,9	Výmol na čele
	F2	33,9	Výmol na čele.
ZD5	G1	22,5	Výmol na čele, vylomená větší část hlavního břitu.
	G2	33,7	Výmol na čele, porušen hladící břit.
ZD15	H1	32,5	Destrukce.
	H2	35,9	Výmol na čele.
ZD25	I1	33,8	Výmol na čele, destrukce vedlejšího a hladícího břitu.
	I2	26,0	Výmol na čele, vylomený hlavní břit na konci záběru.

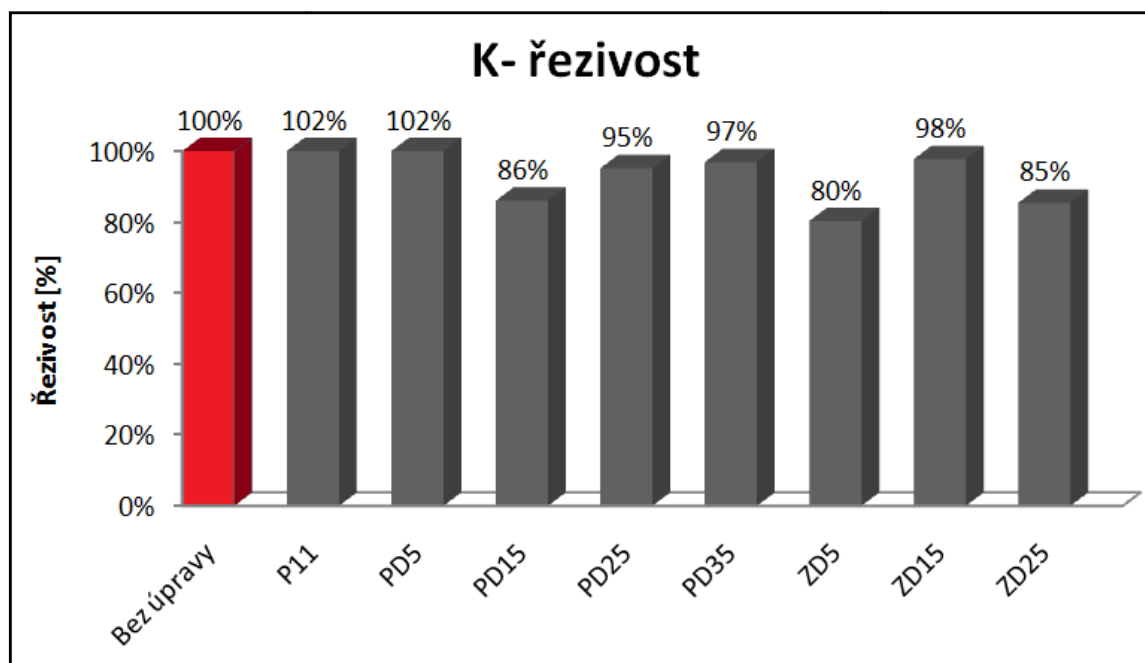
Z tabulky vyplývá, že nejčastějšími příčinami porušení VBD je výmol na čele a porušení hlavního a hladícího břitu. V průběhu testování docházelo k rovnoměrnému opotřebení hřbetu, které bylo ve většině případů ukončeno vylomením větší části břitu. Dále budou v této kapitole vyobrazeny snímky největších defektů, které byly pořízeny na mikroskopu.



Grafy 4.8 a 4.9 zobrazují závislost trvanlivosti a řezivosti jednotlivých VBD. Řezivost je uváděna v procentuálním poměru k neupravené, čistě napovlakované destičce, která nese hodnotu 100%.

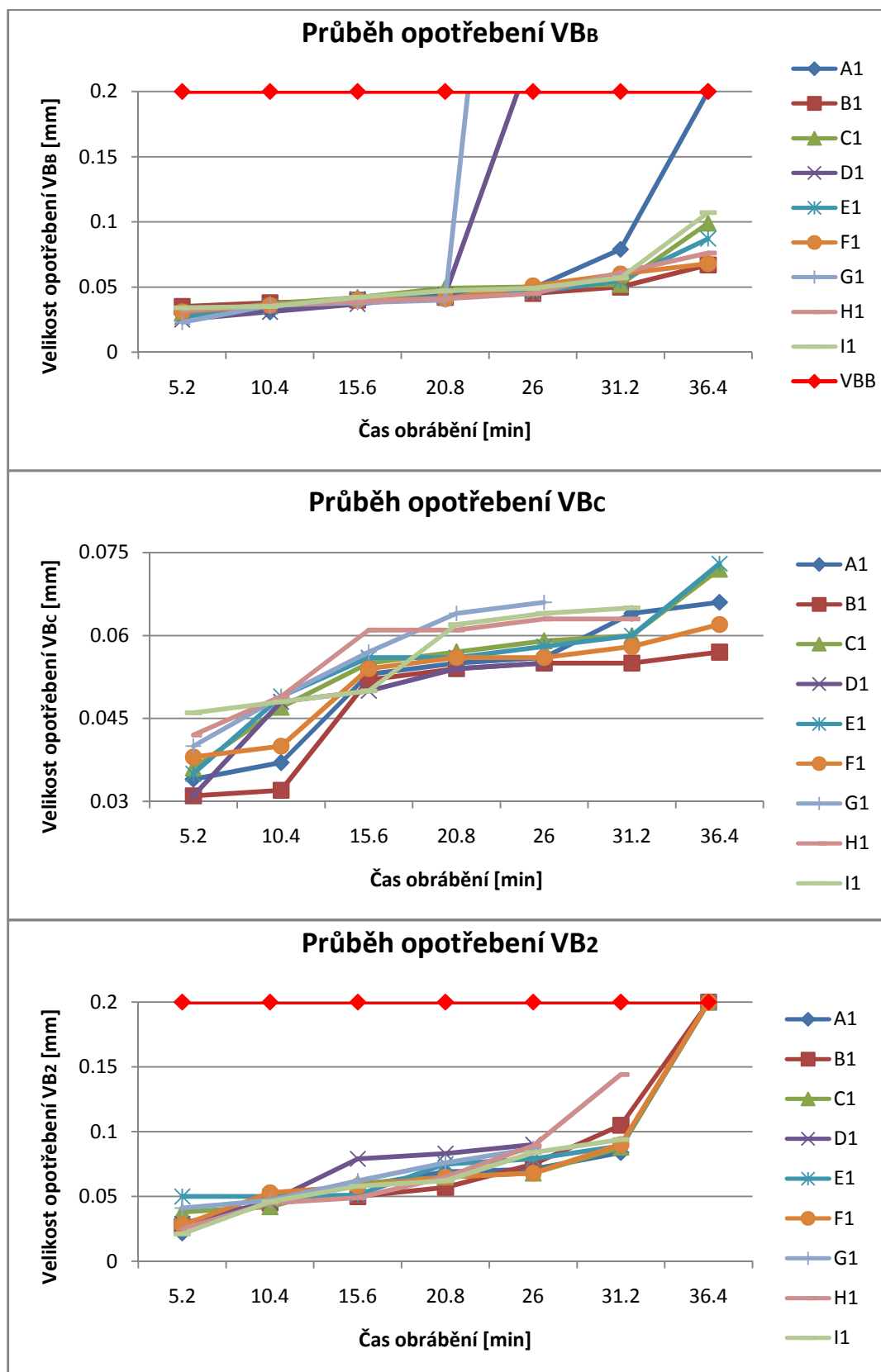


**Graf 4.8** Grafická závislost trvanlivosti jednotlivých VBD.



**Graf 4.9** Grafická závislost řezivosti jednotlivých VBD.

Na grafech (Obr. 4.14) je možné pozorovat velikosti průběhu opotřebení  $VB_B$ ,  $VB_C$  a  $VB_2$  u vzorků A1 – I1.  $VB_B = 0,2$  mm,  $VB_C = 0,4$  mm a  $VB_2 = 0,2$  mm.

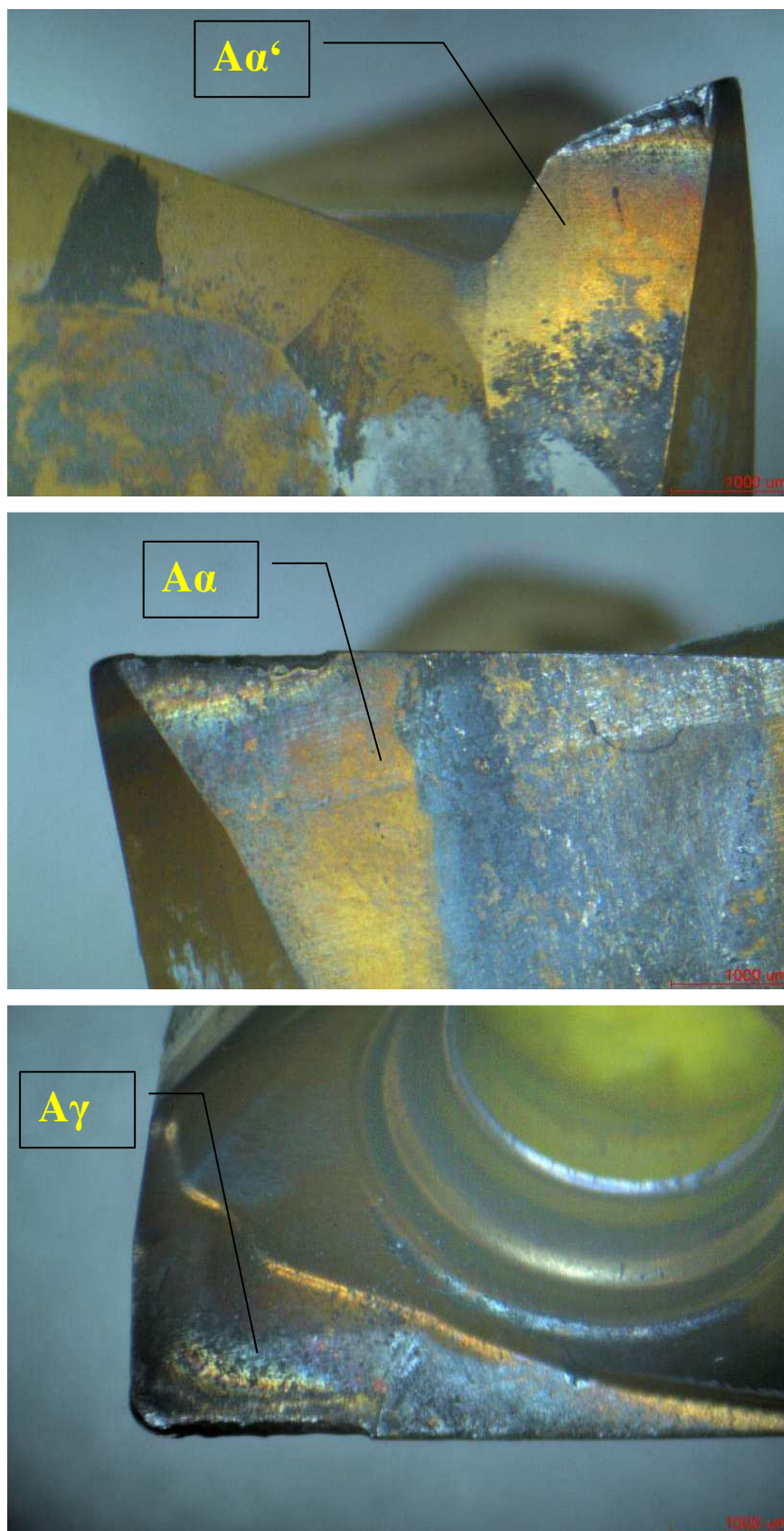


Graf 4.10 – 4.12 Grafické závislosti průběhu opotřebení jednotlivých vzorků.



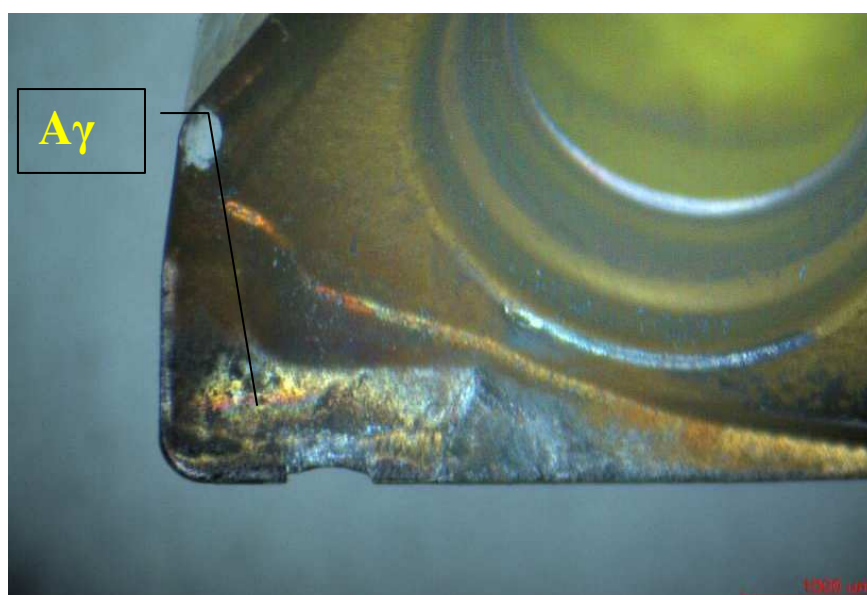
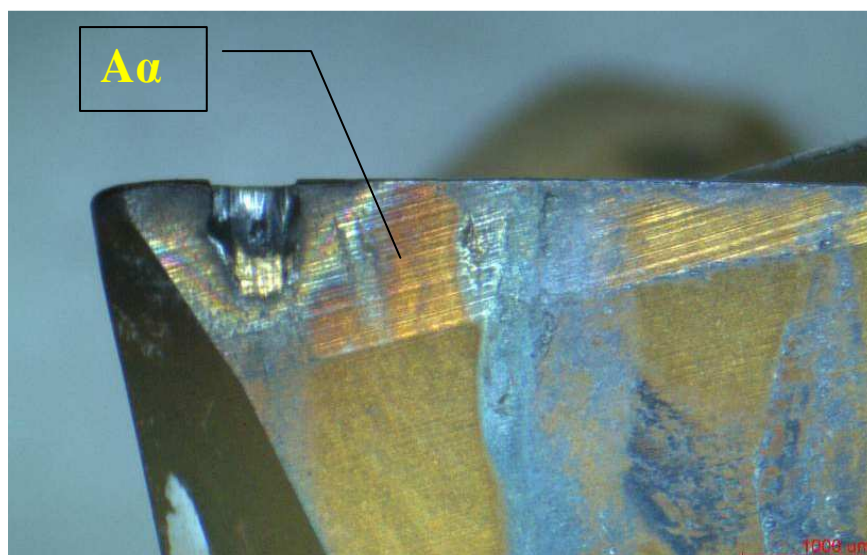
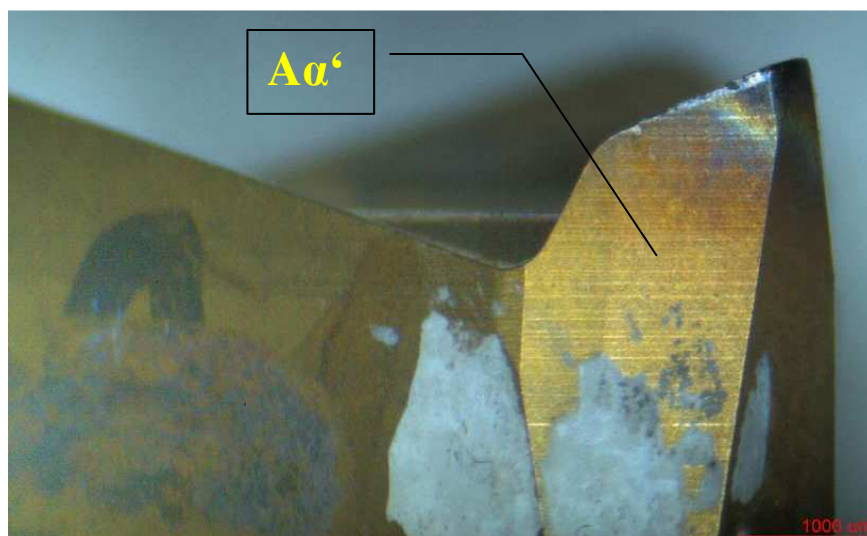
Níže jsou uvedeny obrázky defektů vybraných VBD.

A1 (36 min) nejčastější typ opotřebení.



*Obr. 4.4 – 4.6 Fotografie opotřebení vzorku A1.*

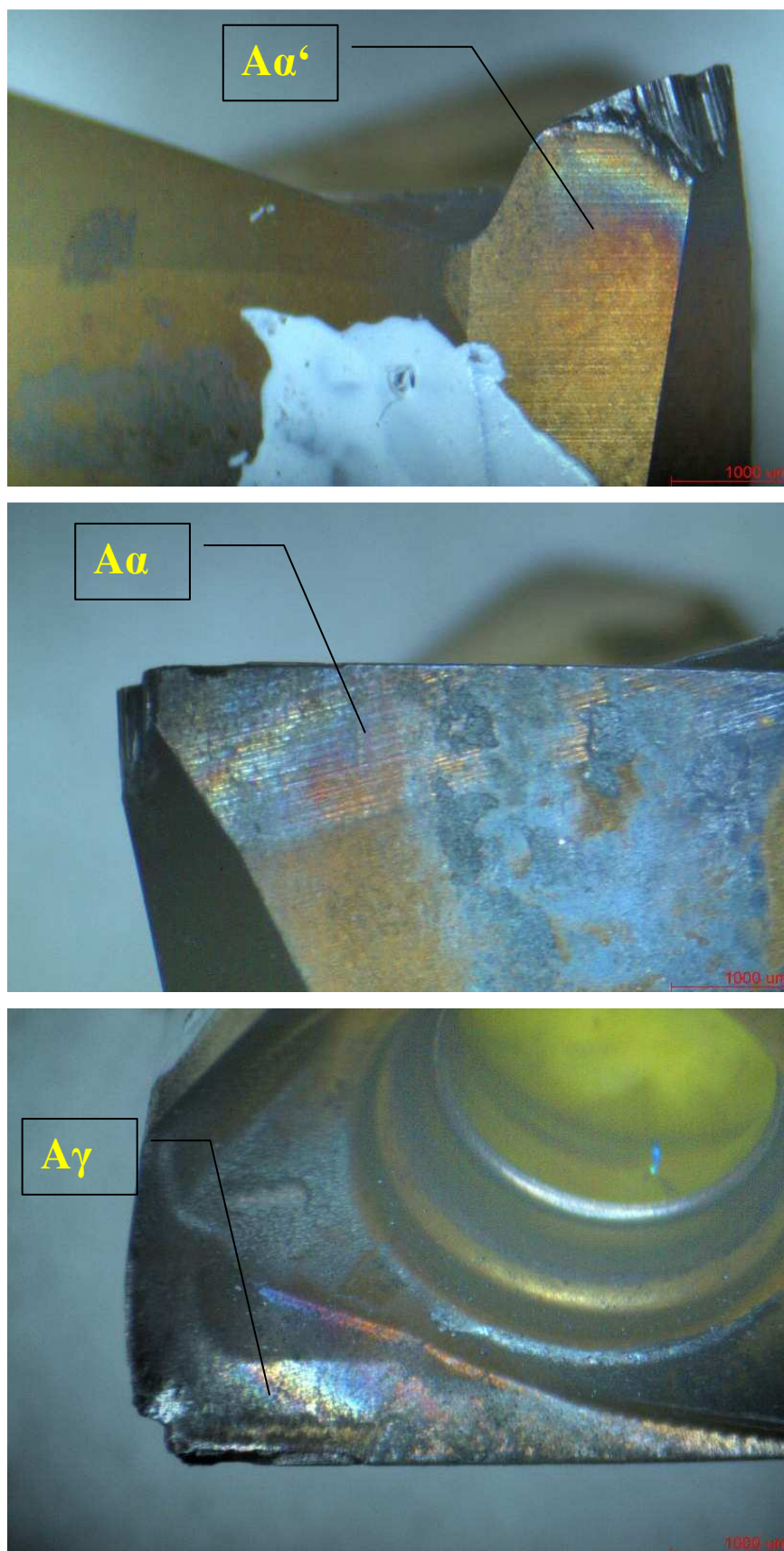
G1 (26 min) vylomená větší část hlavního břitu:



*Obr. 4.7 – 4.9 Fotografie opotřebení vzorku G1.*



II (36 min) destrukce hlavního a vedlejšího břitu.



*Obr. 4.1 – 4.12 Fotografie opotřebení vzorku II.*

## 5 Závěrečné zhodnocení a doporučení

Z předchozí kapitoly je možné pozorovat, že proces vlečného omílání neměl pozitivní vliv na zvýšení trvanlivosti testovaných VBD. Již dříve byla ve firmě DormerPramet uskutečněna podobná testování na stejných VBD, ale s jiným složením PVD povlaku. Omílání probíhalo ve stejném zařízení se shodným typem omílacího média a při nastavení velmi podobných parametrů. Pomocí procesu byla zvýšena trvanlivost téměř o 70 procent z 33,6 minut na 56,7 minut oproti etalonovému vzorku. Zajištění takto vysokého nárůstu trvanlivosti pomocí relativně levné metody, dokáže zajistit ještě lepší prodejnost VBD i s nepatrně vyšší cenou.

U dřívějšího testování se nejednalo o komplexní test, pouze bylo několik kusů VBD odesláno do externí firmy, která zajišťovala omílání na stroji Otec DF3. Zkoušku trvanlivosti si již zajišťovala firma DormerPramet ve své vlastní zkušebně. Cílem bylo zjistit, má-li proces vlečného omílání vliv na trvanlivost VBD a tudíž, vyplatí-li se nákup tohoto zařízení pro další testování. Stroj Otec DF3 samozřejmě neslouží jen pro omílání VBD. Ve firmě DormerPramet nachází využití i pro testování zaoblení řezných hran vrtáků, výstružníků, výhrubníků atd.

Předpokladem bylo, že zvýšení trvanlivosti je ovlivněno snížením drsnosti povrchu a odstraněním makročástic z deponovaného PVD povlaku. Proto byly při aktuálním testování měřeny drsnosti povrchu na přístroji Alicona InfiniteEdge a byl také důkladně prozkoumán povrch jednotlivých VBD na rastrovacím elektronovém mikroskopu MIRA 3LM. Jak je možné vidět v kapitole 4 na grafech měření i na fotografiích z elektronového mikroskopu, bylo docíleno ke snížení drsnosti, odstranění makročástic a vyhlazení povrchu. Jak je ale možné pozorovat v kapitole 4.3 s názvem zkouška trvanlivosti, nepodařilo se ani v jednom případě docílit zvýšení trvanlivosti VBD. Omílané vzorky dopadly téměř shodně jako etalonová VBD nebo hůře.

Aktuálně testované VBD měly stejný substrát, ale neměly shodný povlak jako ty z předchozího testu. Také se jednalo o PVD, o podobném složení na bázi TiN + tenká vrstva TiAlN, ale rozdíly byly v použité metodě pro nanášení svrchních vrstev povlaku. Nový povlak zajišťuje lepší vlastnosti a zvýšení trvanlivosti již v neupraveném stavu. Z dostupných dat se nedá stanovit procentuální nárůst trvanlivosti při použití nového povlaku oproti starému, protože testování proběhlo za odlišných řezných podmínek

(Tab. 5.1). Rozdíl mezi trvanlivostí 33,6 a 35 minut ve prospěch nového povlaku, je ve skutečnosti vyšší.

**Tab. 5.1** Rozdíl řezných podmínek při použití starého a nového povlaku.

Řezné podmínky			Nový	Starý
Označení/poznámka	Označení	Jednotky	Hodnota	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c$	$m \cdot min^{-1}$	240	200
Otáčky	$n$	$min^{-1}$	3056	2546
Posuv	$f_{zub}$	$mm \cdot zub^{-1}$	0,2	0,2
Posuv	$f_{min}$	$mm \cdot min^{-1}$	611	509
Hloubka řezu	$a_p$	mm	2	2
Šířka frézovací plochy	$a_e$	mm	24	24
Počet záběrů	$i$	-	4	4
Délka záběru	$l$	mm	800	800
Procesní kapalina	-	-	NE	NE
Čas jednoho záběru	-	min	5,2	6,3

Předpokládalo se, že snížením drsnosti povrchu a odstraněním makročástic z deponované vrstvy se zajistí zvýšení trvanlivosti nástroje. Testováním však byl tento předpoklad vyvrácen. U některých typů povlaků může být snížení drsnosti povrchu prospěšné, ale spíše se jedná o vedlejší efekt. Testování vlečného omílání bude probíhat i nadále, bohužel z časových důvodů, se průběhu a výsledkům zkoušek nedostane prostor v této diplomové práci. Zkoumat a měřit se budou závislosti tribologických (kluzných) vlastností.

## **Závěr**

Náplní této diplomové práce bylo docílit zvýšení trvanlivosti frézovacích vyměnitelných břitových destiček od výrobce DormerPramet, konkrétně typu TNGX100404 s utvařečem F-P03, nanesené PVD povlakem. Tento typ destiček byl novinkou pro rok 2016 a dodnes se řadí mezi dobře prodávané kusy, tudíž další inovace a vylepšení tohoto produktu by zajistily jeho větší prodejnost. Proces, který měl zajistit zvýšení trvanlivosti, se nazývá vlečné omílání a zajišťuje snížení drsnosti povrchu tím, že odstraní z deponované vrstvy ulpělé makročástice.

Úvodní část diplomové práce byla věnována firmě DormerPramet, ve které bylo prováděno veškeré testování na VBD. V teoretické části byl popsán proces výroby slinutých karbidů a typy deponovaných vrstev včetně jejich nanášení. Dále byly uvedeny informace o integritě povrchu a zaoblení řezné hrany nástrojů. Praktická část se již věnovala popisu VBD a přístrojů, na kterých se provádělo vlečné omílání, měření drsnosti a popisu frézovacího centra, kde byla prováděna zkouška trvanlivosti. Následující kapitola byla zaměřena na zpracování naměřených dat. Byly zde porovnány naměřené hodnoty na čele a hřbetu VBD při použití různých metod úpravy povrchu PVD povlaku. Dále byly porovnány fotografie povrchů vybraných destiček z elektronového rastrovacího mikroskopu, kde se daly pozorovat změny, vyvolané procesem vlečného omílání a mokrého pískování. Jako poslední byla v této kapitole popsána zkouška trvanlivosti. Poslední kapitola popisuje výsledné zhodnocení celé práce. Původní předpoklady závislosti snížení drsnosti na zvýšení trvanlivosti se však nepotvrdily. Trvanlivost VBD se procesem vlečného omílání, které způsobilo snížení drsnosti povrchu a odstranění makročástic, nezvýšila.

## Seznam použité literatury

- [1] SKOTNICOVÁ, K. *Prášková metalurgie: studijní opory: učební text, scénáře, testy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3378-1
- [2] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje: interaktivní multimediální text pro všechny pro všechny studijní programy FSI*. Brno: VUT-FSI, 2006
- [3] KŘÍŽ, A. *Prášková metalurgie*. Studijní materiály. Plzeň: ZCU-OPI, 2009 [cit. 2017-02-14]. Dostupný z WWW: [https://www.opi.zcu.cz/praskova\\_metalurgie.pdf](https://www.opi.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf)
- [4] LEE, P. W. *ASM Handbook: Volume 7: Powder Metal Technologies and Applications*. 1st. ed. Materials Park: ASM International, 1998, 1147 p. ISBN 978-0871703873
- [5] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vydání*. Brno: CCB spol. s.r.o., 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4
- [6] KŘÍŽ, A. *Tenké vrstvy* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2009 [cit. 2017-02-06]. Dostupný z WWW: [https://www.opi.zcu.cz/tenke\\_vrstvy\\_sma.pdf](https://www.opi.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf)
- [7] MUREȘAN, Mihai-George. *Plasma enhanced CVD of multicomponent functional coatings*. Brno, 2015. Disertační. Masarykova Univerzita
- [8] LIBRA, M. Naprašování tenkých vrstev. *Elektro* [online] 2003, (07) [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/naprasovani-tenkych-vrstev--14441>
- [9] RODRÍGUEZ C. J. C. Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing. Kassel: Kassel Univ. Press, 2009. ISBN 9783899587128
- [10] VALTER, J., VYSKOČIL, J. *Plazmové povlakování (1. část)*. MM - Průmyslové spektrum. 5/2000. s. 18-19. ISSN 1212-2572
- [11] Výroba. *Periodická tabulka* [online]. [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/74.html#vyroba>
- [12] Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2005 [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-uprav-nastroju-pred-a-po-povlakovani.html>
- [13] BRYCHTA, J. *Technologie II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1641-8
- [14] NECKÁŘ, F. a I. KVASNIČKA. *Vybrané statě z úběru materialu*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1991

- [15] COTELL C. M., J. A. SPRAGUE and F. A. SMIDT. *ASM Handbook-Volume 5: Surface Engineering*. ASM International, 1994. ISBN 978-0871703842
- [16] Nejdůležitější oblast nástroje - ostří. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2014 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nejdulezitejsi-oblast-nastroje-ostri.html>
- [17] Drsnost povrchu. *HOMMEL* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/files/HOMMEL-CS-plakat-drsnost-uchylky-tvaru.pdf>
- [18] Height Parameters. *OLYMPUS* [online]. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: [http://www.olympus-ims.com/pt/knowledge/metrology/roughness/3d\\_parameter/](http://www.olympus-ims.com/pt/knowledge/metrology/roughness/3d_parameter/)
- [19] Area Roughness Parameters. *KEYENCE* [online]. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://www.keyence.eu/ss/products/microscope/roughness/surface/parameters.jsp?aw=gagooglekibczdyn&gclid=CLKNrsu2sNMCfcwK0wodCxYOag>
- [20] ŠVARC, V. *Preparace břitu monolitních fréz pomocí vlečného omílání*. Plzeň, 2013, Diplomová práce. ZČU v Plzni
- [21] Drag Finishing Machine. *Bpress* [online]. 2014 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.bpress.cn/im/author/algous/page/31255/>
- [22] Obrábění za sucha. *OTEC* [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.otec.de/cz/produkty/procesni-media/obrabeni-za-sucha/>
- [23] MIRA3 LM. *TESCAN* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://tescan.ru/products/mira-sem/mira-3-lm/>
- [24] Komplexní hodnocení jakosti povrchu. *Digitovárna* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/komplexni-hodnoceni-jakosti-povrchu.html>
- [25] InfiniteFocus. *Alicona* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.alicon.com/products/infinitefocus/>
- [26] Alicona Form and Roughness Measurement. *Meoptix* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <https://www.metoptix.com.au/products/other-products/form-and-roughness-measurement/>
- [27] MCV 1270. *Kovosvit* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-1270-p9.html#main>
- [28] Nové výrobky 2016.2. *DormerPramet* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: [https://www.dormerpramet.com/Downloads/Pramet%202016.2\\_CZ.pdf](https://www.dormerpramet.com/Downloads/Pramet%202016.2_CZ.pdf)
- [29] PHSG Horizontal Pressure-Vacuum. *Shimadzu Mectem Inc* [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.shimadzu-mectem.com/product/furnace/phsg.html>



- [30] ARTICOLI PER LAVORAZIONE E TAGLIO METALLI. *Sbrissa* [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: [http://www.sbrissa.com/taglio\\_metalli.htm](http://www.sbrissa.com/taglio_metalli.htm)
- [31] DormerPramet. *DormerPramet* [online]. [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/cs-cz>
- [32] Prášková metalurgie. *Jan Hamerlík* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Metalurgie.htm>
- [33] MATTOX, Donald M. *Vacuum Deposition Processes* [online]. 1999 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://www.pfonline.com/articles/vacuum-deposition-processes>
- [34] MRKVICA, I. a V. MORAVEC. Úpravy břitů a povrchů řezných nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 2007(6) [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju.html>
- [35] *MM Průmyslové spektrum*: [online]. 2002(5) [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/omilani-jako-univerzalni-metoda-pro-upravu-povrchu.html>